

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

## **Bakalářská práce**

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského  
inženýrství

**Lokalizace osob v domácím prostředí**  
**Human localization in home environment**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Mimra**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **3901R039 Biomedicínský technik**  
Téma: **Lokalizace osob v domácím prostředí**  
**Human Localization in Home Enviroment**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se se systémy sledování pozice osob v bytech a budovách.
2. Seznámení se se systémem POZYX, popis jeho funkcí a využívané technologie.
3. Instalace systému POZYX v laboratořích.
4. Provedení experimentálních měření ke zjištění přesnosti lokalizace osob v laboratořích za různých podmínek, minimálně za různé konfigurace a nastavení systému POZYX a za přítomnosti různého počtu ostatních osob.
5. Statistické zhodnocení provedených experimentů.
6. Návrh instalace systému POZYX do nově vznikajících Telemetrických bytů.
7. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] *Body Sensor Network*. Editor Guang-Zhong YANG. London (UK): Springer-Verlag, 2006. 493 s. ISBN 978-1-84628-272-0.
- [2] FRANDEN, Jacob. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Design, and Applications*. 4th edition. Springer, c2010. 589 s. ISBN 978-1441964656.
- [3] BRONZINO, Joseph D. et al. *The biomedical engineering handbook*. Boca Raton(USA): CRC Press, 1995. 2896 s. ISBN 0849383463/978-0849383465.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Černý, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty



## Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 30. dubna 2019

  
.....

Tomáš Mimra



## **Poděkování**

Děkuji panu doc. Ing. Martinu Černému, Ph.D. za konzultace, věcné rady a vedení mé bakalářské práce, také chci poděkovat panu Ing. Janu Kubičkovi, Ph.D. za rady při statistickém zhodnocení. Dále bych chtěl poděkovat Lukáši Pospíšilovi, Kristině Kellnerové a Jakubu Foltýnovi za pomoc při měření experimentů.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je seznámit se se systémem Pozyx a s jinými způsoby určování polohy v bytech a budovách a provést dostatečný počet experimentálních měření za účelem ověření kvality lokalizace osob pomocí systému Pozyx. Experimenty jsou zaměřeny jednak na ověření vlivu umístění retenčních vysílačů (anchorů= kotev) na přesnost měření a dále na ověření vlivu překážek a osob na přesnost měření. Součástí práce je také návrh optimálního rozmístění anchorů v nově vznikajících telemetrických bytech.

Klíčová slova: anchor, tag, pozyx, odchylka, přesnost

## **Abstract**

The aim of this bachelor's thesis is to get familiar with Pozyx system and other systems which can determine position in buildings and make enough amount of experimental measurements in order to verify quality of localization of persons via Pozyx system. Experiments are oriented on verification of impact of position of anchors on measurement accuracy and on verification of impact of obstacles and persons on measurement accuracy. Part of work is design of optimal layout of anchors in new telemetric apartments.

Key words: anchor, tag, pozyx, deviation, accuracy

# Obsah

Seznam obrázků .....	9
Seznam tabulek.....	10
Seznam použitých symbolů a zkratk .....	11
Úvod .....	12
1. Literární rešerše k zadané problematice .....	13
1.1. Vlastnosti UWB, vylepšení ToA pomocí časové synchronizace [4].....	13
1.2. Lokalizace pohybu v uzavřeném prostoru pomocí Wi-Fi [7].....	13
1.3. Algoritmus založený na kombinaci metody Wi-Fi a Bluetooth [8] .....	15
1.4. Lokalizace v AD HOC sítích pomocí technologie Bluetooth [9].....	15
1.5. Závěr literární rešerše .....	16
2. Pozyx .....	17
2.1. UWB metoda.....	17
2.2. Určení polohy .....	18
2.3. Algoritmus pro výpočet polohy .....	19
2.4. Pozyx aplikace.....	20
2.4.1. MQTT protokol .....	21
3. Matematický aparát .....	22
3.1. Absolutní hodnota difference ( $  -  $ ).....	22
3.2. Aritmetický průměr ( $\bar{x}$ ).....	22
3.3. Medián ( $x$ ) .....	22
3.4. Rozptyl ( $\sigma^2$ ) .....	22
3.5. Směrodatná odchylka ( $\sigma$ ).....	22
3.6. Průměrná absolutní chyba (MAE).....	22
3.7. Euklidovská vzdálenost (euk).....	23
3.8. Korelační koeficient (corr) .....	23
4. Testování přesnosti systému POZYX .....	24
4.1. Příprava laboratoře před prováděním testů.....	24
4.2. Testování rozmístění anchorů.....	25
4.2.1. Zpracování dat z testování rozmístění anchorů .....	27
4.2.2. Závěr testování rozmístění anchorů.....	29
4.3. Testování ideálního rozmístění anchorů.....	31
4.3.1. Zpracování dat z testování ideálního rozmístění anchorů .....	32
4.3.2. Závěr testování ideálního rozmístění anchorů.....	32
4.4. Určování pohybu v laboratoři.....	34
4.4.1. Zpracování dat z určování pohybu v laboratoři.....	35



4.4.2.	Závěr určování pohybu v laboratoři .....	35
4.5.	Určování polohy mezi dvěma laboratořemi .....	36
4.5.1.	Zpracování dat z určování polohy mezi dvěma laboratořemi .....	37
4.5.2.	Závěr určování polohy mezi dvěma laboratořemi .....	38
5.	Navržení lokalizace v telemetrickém bytě.....	40
6.	Závěr.....	41
7.	Zdroje .....	42

## Seznam obrázků

Obrázek 1: a) ToA; b) AoA; c) hybridní ToA/AoA; d) RSS a otisky [7] .....	14
Obrázek 2: Rozdíl přesnosti mezi UWB a jinými metodami .....	17
Obrázek 3: Skládání signálů s podobnou frekvencí a vznik nového signálu s impulsem .....	18
Obrázek 4: Zobrazení lokalizace s využitím jednoho anchoru .....	18
Obrázek 5: Zobrazení lokalizace s využitím dvou anchorů .....	19
Obrázek 6: Trilaterace .....	19
Obrázek 7: MQTT protokol [10] .....	21
Obrázek 8: Blokové schéma zpracování dat .....	23
Obrázek 9: Body v laboratoři .....	24
Obrázek 10: Rozložení anchorů č.1 v laboratoři EB309 .....	27
Obrázek 11: Rozložení anchorů č.2 v laboratoři EB309 .....	29
Obrázek 12: Rozložení anchorů č.3 v laboratoři EB309 .....	27
Obrázek 13: Průměr Euklidovské vzdálenosti v bodech .....	30
Obrázek 14: Průměrné odchylky jednotlivých měření 1 až 27 .....	30
Obrázek 15: Ideální rozložení anchorů .....	31
Obrázek 16: Směry v laboratoři .....	31
Obrázek 17: Průměrné odchylky jednotlivých měření 28 až 36 .....	33
Obrázek 18: Korelované odchylky jednotlivých měření 28 až 36 .....	34
Obrázek 19: Předpokládaná trajektorie pohybu č.1 .....	34
Obrázek 20: Předpokládaná trajektorie pohybu č.2 .....	37
Obrázek 21: Předpokládaná trajektorie pohybu č.3 .....	35
Obrázek 22: Porovnání dvou měření, vlevo více lidí v místnosti .....	35
Obrázek 23: Všechna tři umístění tagu .....	36
Obrázek 24: Rozložení anchorů pro dvě laboratoře .....	37
Obrázek 25: Předpokládaná trajektorie mezi dvěma laboratořemi .....	37
Obrázek 26: Záznam měření mezi dvěma laboratořemi .....	38
Obrázek 27: Záznam měření mezi dvěma laboratořemi pro dvě osoby .....	38
Obrázek 28: Aktivní pouze dva anchory, ostatní anchory odpojeny z důvodu nedostatku signálu .....	39
Obrázek 29: Navržení rozmístění anchorů pro telemetrický byt č. 1 .....	40
Obrázek 30: Navržení rozmístění anchorů pro telemetrický byt č. 2 .....	40

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Souřadnice bodů v laboratoři .....	25
Tabulka 2: Přehled rozmístění anchorů v experimentech .....	26
Tabulka 3: Příklad záznamu měření č.1, anchory ve výšce 0 mm .....	28
Tabulka 4: Zobrazení odchylek na osách, průměrné Euklidovské vzdálenosti a jejich směrodatné odchylky .....	29
Tabulka 5: Příklad záznamu měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na stojanu .....	32
Tabulka 6: Statistická tabulka pro testování ideálního rozmístění anchorů .....	33



## Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
UWB	Ultra-wideband – ultra-široké pásmo
GPS	Global Positioning Systém – globální poziční systém
Wi-Fi	Wireless Fidelity doslovně bezdrátová věrnost
TOF	Time of flight – doba letu
TOA	Time of arrival – doba vrácení
MAT	Mean time acquisition – průměrný časový příjem
Wi-Fi APs	Wi-Fi přístupové body
AoA	Angle of arrival – úhel návratu
RSS	Received signal strength – síla přijatého signálu
MUSIC	Multiple signal classification – vícenásobné rozlišení signálu
LOS	Line of sight což znamená, aby anchory na sebe přímo viděly, doslova přímá viditelnost
RTT	Round-trip time – doba zpáteční cesty
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing – ortogonální vícenásobná frekvence
RFID	Radio Frequency Identification – identifikace na rádiové frekvence
WLAN	Wireless local-area network – bezdrátová lokální síť
FG	Floating ground – metoda která, zaznamenává zatížení podložky, doslovně plovoucí zem
AD HOC	Síť, která nezávisí na předem existující infrastruktuře
GNSS	Global Navigation Satellite System – globální družicový navigační systém
RSSI	Received signal strength indication – Indikace síly přijatého signálu
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport – Telemetrický transport řad zpráv
MAT	Mean Time Acquisition – průměrný časový příjem, například dat
VŠB – TUO FEI	Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky
MAE	Mean absolute error – průměrná absolutní chyba
corr	Korelační koeficient
euk	Euklidovská vzdálenost

# Úvod

Dnešní doba vyžaduje přístup k určení polohy jak v budově, tak i mimo ni. Na světě je již mnoho let používán systém GPS, který dokáže určit přesnou polohu mimo budovy. V budovách se tento systém uplatnit nedá kvůli nedostačující prostupnosti radiových vln do budov. Proto se začalo pracovat na nových způsobech určování polohy v budovách. Prvními metodami, které se používali, byly metody Wi-Fi a Bluetooth. Později se dostala na povědomí i metoda UWB.

Tématem této bakalářské práce je lokalizace osob v domácím prostředí, tedy v budově. Pro lokalizaci bude použit systém Pozyx. Pozyx je technickým řešením vyvinutý skupinou belgických inženýrů, kteří tento systém uvedli na trh v roce 2015. Pozyx systém využívá technologii Ultra Wide Band (UWB= ultra-široké pásmo), která umožňuje lokalizaci osob nejen v uzavřených prostorách.

Rozdíl mezi systémem Pozyx a systémy jinými je ve využití lokalizační technologie. Technologie, kterou většina dnešních lokalizačních systémů využívá je bluetooth, Wi-Fi, nebo GPS.

Tato práce se věnuje lokalizaci osob nejen z důvodu domácí péče, ale také z důvodu bezpečnosti. Bezpečnost a domácí péče je v tomhle ohledu velice provázaná. Hlavní myšlenka a důvod této práce je implementace lokalizačních systémů do bytů a následné sledování osob. Sledováním v bytě může být zaznamenán případný pád osoby, nebo dlouhodobá nehybnost sledovaného. Rozvinutí tohoto systému by pak tyto nehody rozpoznalo a upozornilo příslušné osoby.

Účelem této bakalářské práce je otestovat přesnost a praktickou funkčnost systému Pozyx řadou laboratorních testů a následné vyhodnocení těchto testů. Vyhodnocení bude provedeno statisticky, graficky a vizuálně.

Na závěr bakalářské práce navrhnu rozložení anchorů do telemetrických bytů na základě získaných informací z celého testování.

# 1. Literární rešerše k zadané problematice

V této kapitole uvádím příklady technologií a jejich testování na základě provedené rešerše dostupné literatury.

## 1.1. Vlastnosti UWB, vylepšení ToA pomocí časové synchronizace [4]

### Úvod

V dnešní době se běžně používají metody využívající Wi-Fi a Bluetooth, ale jejich přesnost je velice malá [4]. Proto se začala metoda UWB více rozvíjet. Všechny zmíněné metody využívají podobné algoritmy, jeden z nich je algoritmus pracující na době vrácení, tedy time of arrival (ToA).

### Algoritmus ToA

Funkce tohoto algoritmu je založena na signálu, který je vyslán vysílačem a přijat přijímačem. Doba mezi vysláním a přijetím signálu nese informace o vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem.

V této odborné práci používají autoři článku [4] vzorec pro výpočet ToA, přičemž provedou autokorelační funkci podle funkce časového příjmu dat (MAT). Základní struktura vzorce pro výpočet ToA je:

$$x(t) = \alpha s(t - \tau_d) + \sum_{k=1}^{L_p} \alpha_k s(t - \tau_k) + n(t); t \leq \frac{T_p}{2} \quad (1)$$

kde  $x(t)$  je výsledný signál,  $\tau_d < \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_{L_p}$  jsou časy návratu signálů,  $\alpha$  je síla přijatého signálu,  $\tau_k$  a  $\alpha_k$  jsou parametry  $k$ -tého signálu,  $L_p$  počet signálů,  $\frac{T_p}{2}$  je nejsilnější část sledovaného signálu,  $s$  radiový známý signál (korelační),  $n$  je vypočítaná frekvence a  $t$  je čas.

### Závěr

Autoři této práce [4] díky testování metody UWB zjistily, že tato metoda je vhodná pro vnitřní lokalizaci. Algoritmus ToA je přesný a dokáže detekovat 93,12 % vyslaných signálů do 50 ns. Chyba v měření byla 25 cm, která byla ve srovnání s GPS 30 m. Autoři zavedli nový parametr MAT, který slouží jako korelační parametr pro přesnou časovou synchronizaci.

## 1.2. Lokalizace pohybu v uzavřeném prostoru pomocí Wi-Fi [7]

### Úvod

V tomto systému popsané v článku [7] jsou dva komponenty, kotvy (anchor), jejichž pozice je známa a štítky (tag). Anchory detekují pohyb a pozice štítků. Je zde spousta aspektů, které výrobu lokalizátorů dělají složitou: Cena (instalace kotev je finančně náročná), hustá síť anchorů (neřídí se stejně jako GPS podle 31 družic ve vesmíru, objekty jsou limitovány počtem anchorů) a vlivy staveb (u bezdrátového signálu se měří vzdálenost a úhel, tyto aspekty ovšem mohou být ovlivněny překážkami jakou jsou stěny, předměty a taky lidské tělo).

Díky širokému využití Wi-Fi se očekává, že tento způsob bude nejpoužívanější pro lokalizaci v budovách. Autor tohoto článku [7] použil Wi-Fi přístupové body (Wi-fi APs) s blízkými již nainstalovanými anchormi, přičemž Wi-Fi APs jsou jakékoliv zařízení s Wi-Fi, jako je například chytrý telefon nebo tablet. Bohužel Wi-Fi APs jsou limitovány a šířka používaného pásma je úzká (40 MHz pro 802,11n a 160 MHz pro 802,11ac), proto autor navrhuje použití vylepšené metody času návratu (ToA) a úhlu návratu (AoA).



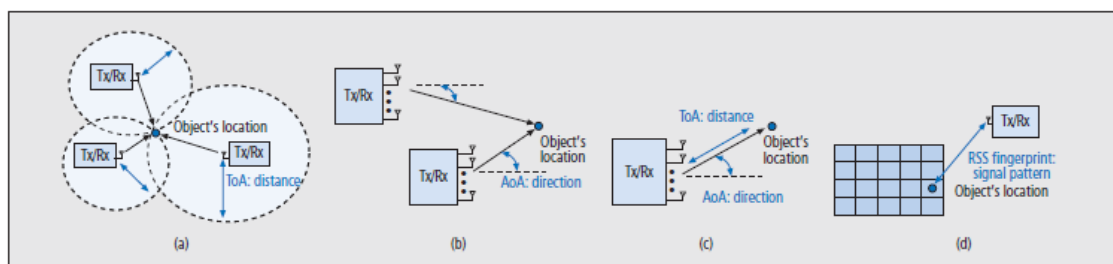
## Metodika

Metoda ToA (Obrázek 1a) je čas letu mezi vysílačem a přijímačem. Délka mezi vysílačem a přijímačem se spočítá pomocí doby letu vynásobenou rychlostí světla. Tato metoda vyžaduje synchronizaci mezi vysílačem a přijímačem. Když signál dorazí na přijímač a je navzorkován neznamená to, že hned první signál je přesný ToA. Počet anchorů závisí na tom, zdali je požadováno měřit ve 2D, nebo ve 3D. Minimální počet anchorů musí být tři. Tato metoda není příliš přesná a závisí na Wi-Fi, nejvyšší přesnost je 1 metr.

Metoda AoA (Obrázek 1b) funguje na principu úhlu dopadu signálu z vysílače na síťovou anténu. Pozice se určuje rozdílem úhlů mezi jednotlivými body na síťové anténě. U této metody jsou potřebné pouze dva anchorové antény. Přesnost metody závisí na kvalitě antén a signálu, nejvyšší přesnost je 0,5 až 1 metr.

Hybridní metoda ToA/AoA (Obrázek 1c) funguje na kombinaci obou zmíněných metod. Výhoda této metody je ta, že stačí jen jeden anchor pro určení polohy. Stále jsou zde ale problémy se šířkou vysílacího pásma, ve kterém se nachází, neboť v tomto pásmu se vyskytuje velký počet rušivých signálů.

Metoda síly přijatého signálu (RSS) a otisku (Obrázek 1d) je patrně složitější než metody předešlé. Již z názvu vyplývá, že se zde měří síla signálu, jenomže pomocí síly signálu nejsme schopni určit přesnou polohu, proto se k RSS přidaly otisky (fingerprint). Tyto otisky se naprogramují a rozdělí prostor na síť. Pomocí této sítě se pak určí přibližná poloha a díky RSS se dopočítá přesná poloha štitku. Při této metodě stačí jen jeden anchor stejně jako u metody hybridní. Tuto metodu používá společnost Apple a dosahují nejvyšší přesnosti přibližně 2 metry.



Obrázek 1: a) ToA; b) AoA; c) hybridní ToA/AoA; d) RSS a otisky [7]

## Výsledky

Metody jsou dost nepřesné, a tak metoda ToA se dá vylepšit skrze propracovanější vzorkování. Vzorkovací frekvence by měla být třikrát rychlejší, což by mělo zachycovat více změn polohy. Používá se zde násobení frekvence, aby se dosáhlo vyšší přesnosti. Metoda AoA se dá vylepšit opožděním jednotlivých paprsků signálu, které využívá algoritmus vícenásobného rozlišení signálu (MUSIC). Při výpočtu pozice se navíc použije proměnná přímá viditelnost (LOS) a ortogonální vícenásobná frekvence (OFDM). Vzdálenost se určuje pomocí doby zpáteční cesty (RTT) která využívá jednoduchý princip měření času návratu a poté dopočítávání vzdálenosti.

## Závěr

Z článku jsme se mohli dozvědět různé mechaniky určování vnitřní polohy. Konvenční metoda ToA/AoA přistupuje k rozšíření pásma. Článek nám ukázal, jak lze vylepšit metodu ToA pomocí složitých výpočtů, které metodu transformují na měřicí metodu s vysokou přesností. Autor navrhl vylepšení metody AoA, kdy lze zredukovat náročnost antén pomocí zpoždění paprsků signálu. Vnitřní lokalizaci lze provádět pomocí Wi-Fi APs, které reprezentují například chytré telefony, nebo tablety. Pokud je v okruhu dvě a více Wi-Fi APs, lze určování polohy ještě více vylepšit pomocí dopočtu metodou AoA.

### **1.3. Algoritmus založený na kombinaci metody Wi-Fi a Bluetooth [8]**

#### **Úvod**

Zaměření článku [8] je prezentovat algoritmus, který používá WLAN a Bluetooth technologii pro určování polohy v uzavřených prostorech. Cílem autora je vyvinout metodu, která vylepší více směrový určovací systém z čtyř rovnic.

#### **Metodiky**

Autoři použili starší, ale vylepšený algoritmus pro technologii WLAN vyvinutý Danem Kalmanem. Autor článku vylepšil algoritmus a testuje jej s různým počtem vysílacích stanic (3; 4; 8) a různým parametrem útlumu (15 %, 30 %, 45 %). Algoritmus funguje na bázi síly signálu (RSS) a na bázi výpočtu vzdálenosti z více vysílačů.

Velmi podobný princip využívá i technologie využívající Bluetooth. Ale místo RSS používá sílu označeného signálu (RSSI). Tato metoda by měla být lépe využita, díky tomu, že v chytrých telefonech Bluetooth již je. Tato metoda používá Bluetooth druhého typu (rádius do 10 metrů). Technologie Bluetooth byla testována stejně jako technologie WLAN.

Poslední metoda je metoda kombinovaná, kdy se zkombinuje technologie WLAN a Bluetooth. Test se prováděl opět stejně, jen se lišil počet vysílacích stanic (3 WLAN a 1 Bluetooth; 3 WLAN and 2 Bluetooth; 3 WLAN and 5 Bluetooth).

#### **Závěr**

Skutečná vnitřní simulace ukázala, že přesnost navržené metody je lepší než normální více směrová metoda i když je parametr útlumu 45 %. Autor také říká, že lokalizace pomocí technologie WLAN je velmi složitá, protože není běžné mít více než dva přístupové body a spojením s technologií Bluetooth navyšuje možnost základních stanic na více než dvě, díky kterým se vypočítají pozice.

Hlavní myšlenka je zajistit vylepšenou metodu systému vnitřní lokalizace, která bude schopna používat již existující základní stanice bez nutnosti úprav nebo znalosti interiéru, základní stanice však budou znát své souřadnice.

V budoucnu chce autor navrhnout reálný experiment, ne však pouhou simulaci navrhované metody, ale skutečný experiment měřený v domácnosti, kde počítač bude filtrovat a zpracovávat data pro lepší čtení lokalizovaných pozic.

### **1.4. Lokalizace v AD HOC sítích pomocí technologie Bluetooth [9]**

#### **Úvod**

Lokalizace mobilních objektů v budovách je velice obtížné. V těchto prostorech není možné použít globální navigační družicový systém (GNSS), který je používán za nejpřesnější. GNSS je v tomto ohledu neúčinné z důvodu toho, že signály GNSS neprojdou skrze stěny. Proto je nutné používat jiný druh lokalizace. Jedna z variant je použití buňkových nebo taky AD HOC sítí. Tento článek se zabývá lokalizací pomocí technologie Bluetooth. Bluetooth má široké využití, a proto je tak oblíbené. V minulosti bylo navrženo více způsobů lokalizace pomocí Bluetooth. Článek se zabývá vlastním návrhem lokalizace, založené na lokalizaci pomocí mobilní stanice. Což znamená, že stanice udělá potřebné měření a výpočty, které pak posílá na server. Toto řešení je finančně nenáročné a jednoduché pro lokalizaci v budovách.

## **Metodiky**

AD HOC síť je jednoduchá síť, utvořena z více přístrojů, které lze navzájem propojit. Tato síť se propojí se zařízeními a ty mezi sebou komunikují například pomocí Bluetooth. Propojením všech zařízení získáme větší dosah signálu.

Lokalizační proces se skládá ze tří kroků (identifikace a výměna dat, sběr dat a potřebné výpočty k určení polohy). Nutnost pro určení polohy je ta, že systém musí vědět, kde se mobilní stanice nachází.

## **Závěr**

V tomto článku byla navržena jednoduchá a poměrně přesná metoda lokalizace pomocí Bluetooth. Technologie je centralizovaná, což znamená že řídí všechny nutné úkony. Zároveň je nutné dodat, že tato metoda využívá asistenci jiných lokalizačních zařízení. Změřené údaje jsou posílány na server, kde jsou později dopočteny a tím se určí poloha.

Tato metoda sice není natolik přesná, ale není tolik finančně náročná jako jiné metody lokalizace. Dá se tedy říci, že při výběru lokalizační metody je třeba dbát na vyžadovanou přesnost lokalizačního zařízení.

### **1.5. Závěr literární rešerše**

Cílem této rešerše bylo seznámení se s metodami lokalizace polohy v uzavřených prostorech. Metody využívající Bluetooth a Wi-Fi jsou relativně jednoduché a levné. Bylo ale prokázáno, že žádná z těchto metod není zcela přesná.



## 2. Pozyx

Pozyx je lokalizační systém, skládající se z tagu, tedy štítku a anchoru, tedy kotvy. Pro lokalizaci systém využívá metodu UWB.

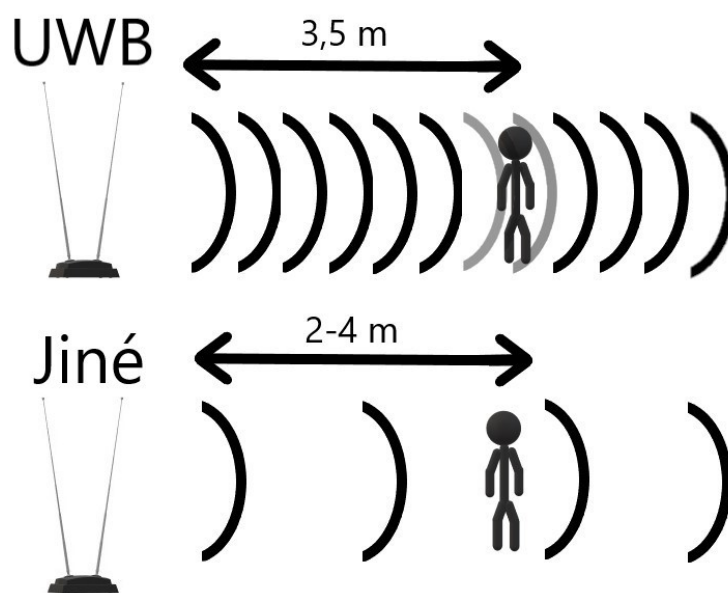
### 2.1. UWB metoda

Metoda, jež využívá bezdrátové vysílání na širokém pásmu frekvencí od 3,5 až 6,5 GHz. Právě díky této šířce, kterou výrobce uvádí, je metoda poměrně přesná (Obrázek 2)., dokáže lokalizovat objekty s přesností na centimetry. Víme, že radiové vlny cestují rychlostí světla ( $c=299792458$  m/s). Díky tomuto poznatku můžeme určit dobu letu (TOF) matematickými výpočty. Signál je upraven tak, že signál bude skládán z velkého počtu jiných signálů s různou frekvencí UWB a tím vznikne jeden impuls, který budeme moci lépe časově charakterizovat (Obrázek 3). Trvání tohoto impulsu vypočteme vzorečkem

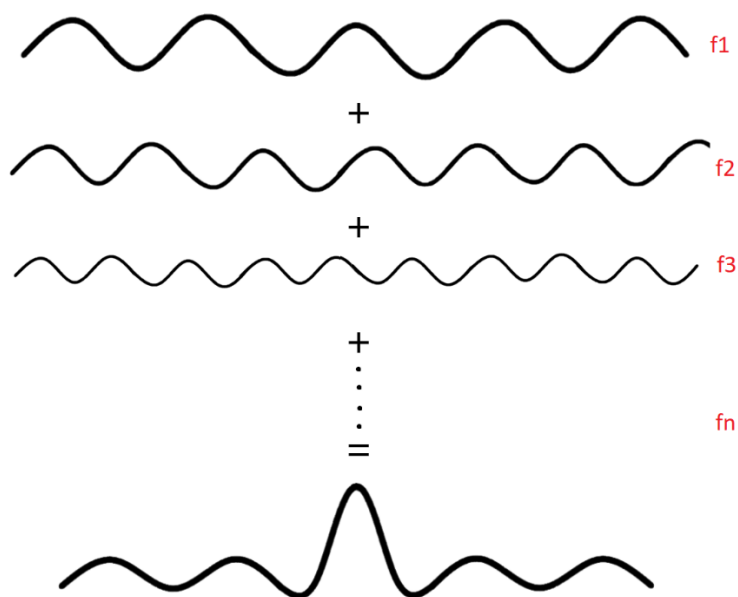
$$\Delta f \Delta t = \frac{1}{4\pi} \quad (2)$$

přičemž  $\Delta f$  je rozmezí využitého frekvenčního pásu a  $\Delta t$  je výsledný čas, který nám bude sloužit pro výpočet vzdálenosti.

V dnešní době jsou využívaná frekvenční spektra velice regulována, z důvodu rušení. Toto však neplatí u metody UWB, která využívá frekvenci v rozmezí 3,5 GHz až 6,5 GHz, jelikož tato metoda využívá nízký výkon pro vysílání, a tudíž nezpůsobuje rušení ostatních kanálů. Tento fakt má ovšem dopad na účinnou vzdálenost, která je znatelně nižší, než u metod využívající Wi-Fi. [1]



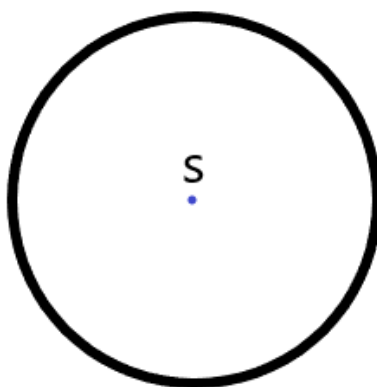
Obrázek 2: Rozdíl přesnosti mezi UWB a jinými metodami



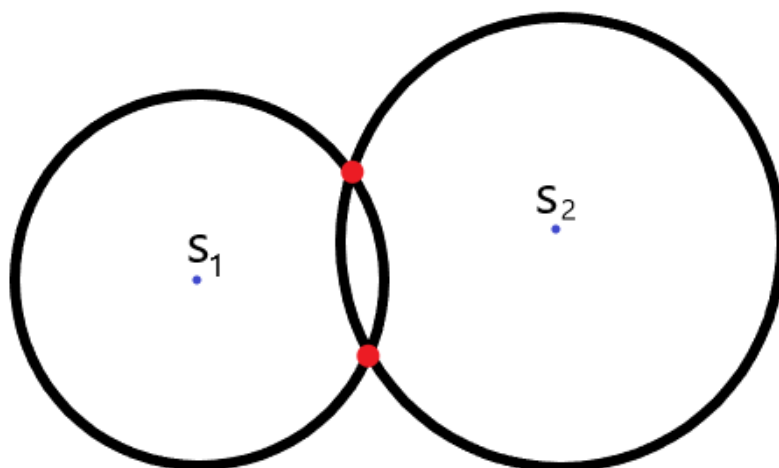
Obrázek 3: Skládání signálů s podobnou frekvencí a vznik nového signálu s impulsem

## 2.2. Určení polohy

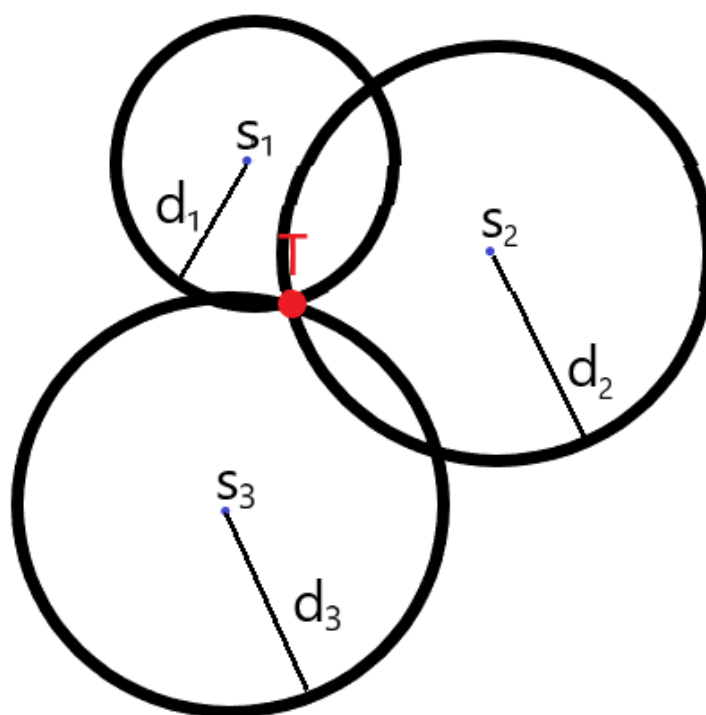
Pro určení polohy je nutné zavést dva body. Jeden z nich bude bod referenční a bod druhý bude ten, jež chceme získat jeho informaci o poloze. Referenční bod bude realizován pomocí anchoru a sledovaný bod bude realizován pomocí tagu. Pro přesné určení polohy je nutné zavést tři referenční body. V případě použití jednoho anchoru zjistíme pouze vzdálenost mezi referenčním bodem a tagem, protože přesná poloha může ležet kdekoli na kružnici (Obrázek 4), v případě použití dvou anchorů získáme polohu dvou bodů, přičemž nevíme, který bod je správný (Obrázek 5). Proto se pro přesné určení polohy použijí alespoň tři anchory. Při určování přesné polohy se využívá tzv. trilaterace, což znamená, že průnik třech kružnic nám určí přesnou polohu (Obrázek 6).[2]



Obrázek 4: Zobrazení lokalizace s využitím jednoho anchoru



Obrázek 5: Zobrazení lokalizace s využitím dvou anchorů



Obrázek 6: Trilaterace

### 2.3. Algoritmus pro výpočet polohy

Algoritmus pro výpočet 2D polohy s měřeným bodem  $T$  a souřadnicemi  $x$  a  $y$ . Pozice  $i$ -tého anchoru je  $s_i$  se souřadnicemi  $x_i$  a  $y_i$ . Kdy  $i$  spadá pod číslo  $N$ , což je celkový počet anchorů, které nabývá hodnot od  $1$  do  $N$ .

Vzdálenost od měřeného bodu a  $i$ -tého anchoru je  $d_i$ , která se vypočte podle vzorce:

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (3)$$

Po roznásobení dostaneme:

$$d_i^2 = x^2 - 2xx_i + x_i^2 + y^2 - 2yy_i + y_i^2 \quad (4)$$

Jelikož ve vzorci (4) je  $x^2$  a  $y^2$  nelineární, upravíme rovnici pomocí odečtením  $d_N^2$  od  $d_i^2$  což vede k rovnicím  $N - 1$ :

$$\begin{aligned} d_i^2 - d_N^2 &= x^2 - 2xx_i + x_i^2 + y^2 - 2yy_i + y_i^2 \\ &\quad - (x^2 - 2xx_N + x_N^2 + y^2 - 2yy_N + y_N^2) \\ &= -2x(x_i - x_N) + x_i^2 - x_N^2 - 2y(y_i - y_N) + y_i^2 - y_N^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Díky této úpravě dostaneme několik lineárních neznámých s neznámými souřadnicemi  $x$  a  $y$ . V maticové formě to bude vypadat takto:

$$b = A \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (6)$$

když

$$b = \begin{bmatrix} d_1^2 - x_1^2 - y_1^2 - d_N^2 + x_N^2 + y_N^2 \\ d_2^2 - x_2^2 - y_2^2 - d_N^2 + x_N^2 + y_N^2 \\ \vdots \\ d_{N-1}^2 - x_{N-1}^2 - y_{N-1}^2 - d_N^2 + x_N^2 + y_N^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

a

$$A = -2 \begin{bmatrix} x_1 - x_N & y_1 - y_N \\ x_2 - x_N & y_2 - y_N \\ \vdots & \vdots \\ x_{N-1} - x_N & y_{N-1} - y_N \end{bmatrix} \quad (8)$$

Vyřešení algoritmu, pokud měříme se třemi anchory ( $N = 3$ ):

$$T = A^{-1}b \quad (9)$$

V případě, kdy provádíme měření na více než třech anchorech ( $N > 3$ ):

$$T = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (10)$$

„Všimněme si, že výše uvedený vzorec se pokusí přizpůsobit souřadnice  $x$  a  $y$  co nejvíce všem různým rovnicím. Z tohoto důvodu bude metoda mít zvýšenou přesnost při použití více anchorů.

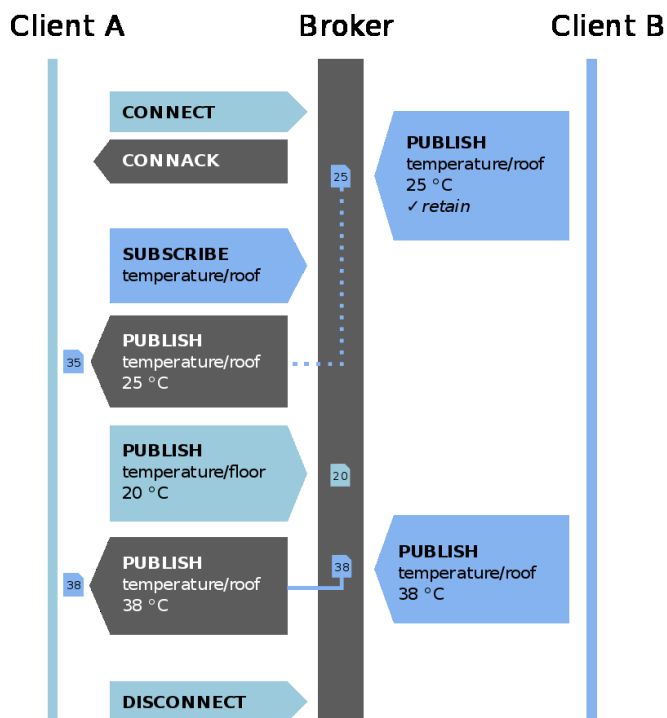
Výše popsany algoritmus se nazývá algoritmus lineárních nejmenších čtverců. Lineární, protože linearizujeme rovnice (zachycením čtverce), a nejmenších čtverců, protože inverzní matice bude mít za následek minimalizaci čtvercové chyby všech rovnic.“ [1]

## 2.4. Pozyx aplikace

Aplikace vyvinutá výrobcí systému Pozyx umožňuje snadnou vizualizace lokalizace. V aplikaci je vizualizace velmi jednoduchá a přehledná. Pozice jednotlivých anchorů se dají nastavit ručně, ale taky pomocí automatické konfigurace. Naměřená data mohou být posílána pomocí MQTT protokolu buď do konzole počítače, nebo do konzole vzdáleného zařízení.

### 2.4.1.MQTT protokol

MQTT protokol je druh komunikačního protokolu se vzdálenými zařízeními. Funguje tak, že jedno zařízení (Client B) posílá na určitý server (Broker) data s různými tématy. Druhé zařízení (Client A) se na server připojí, následně se přihlásí k odběru dat daného tématu a server mu je posílá, nakonec se zařízení odpojí.



Obrázek 7: MQTT protokol [10]

### 3. Matematický aparát

Matematické a statistické operace které byly použity pro zpracování naměřených dat provedených experimentů.

#### 3.1. Absolutní hodnota difference ([ - ])

Vypočtena pomocí absolutní hodnoty z rozdílu dvou proměnných.

#### 3.2. Aritmetický průměr ( $\bar{x}$ )

„Vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot.“ [14] V Matlabu je vypočten pomocí předdefinované funkce mean(). Aritmetický průměr je matematicky vypočten pomocí sumy hodnot(x), následné vydělení počtem hodnot(n)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (11)$$

#### 3.3. Medián ( $\tilde{x}$ )

Hodnota která rozděluje množinu seřazenou vzestupně či sestupně přesně na polovinu. V Matlabu je vypočten pomocí předdefinované funkce median().

#### 3.4. Rozptyl ( $\sigma^2$ )

„Jedná se o charakteristiku variability rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, která vyjadřuje variabilitu rozdělení souboru náhodných hodnot kolem její střední hodnoty.“ [13]. V Matlabu je vypočten pomocí předdefinované funkce var(), vzorec pro rozptyl je

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n [x_i - E(X)]^2 p_i \quad (12)$$

„kde  $x_i$  jsou hodnoty, kterých může náhodná veličina  $X$  nabývat (s pravděpodobnostmi  $p_i$ ) a  $E(X)$  je střední hodnota veličiny  $X$ .“ [13]

#### 3.5. Směrodatná odchylka ( $\sigma$ )

Stejně jako rozptyl, označuje rozptýlenost hodnot, vypočtena pomocí odmocniny z rozptylu, v Matlabu je vypočten pomocí předdefinované funkce std(). Vzorec pro směrodatnou odchylku je

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n [x_i - E(X)]^2 p_i} \quad (13)$$

#### 3.6. Průměrná absolutní chyba (MAE)

Vypočtena pomocí absolutní hodnoty sumy difference dvou vektorů ( $y_i, x_i$ ), které vyjadřují stejnou množinu, a následným vydělením počtem prvků ve vektoru (n)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (14)$$

### 3.7. Euklidovská vzdálenost (euk)

Vypočtena pomocí promítnutí dvou bodů na osu x a y, následně odečteny vzdálenosti mezi body na osách a pomocí Pythagorovi věty vypočtena Euklidovská vzdálenost. Vzorec pro Euklidovskou vzdálenost je

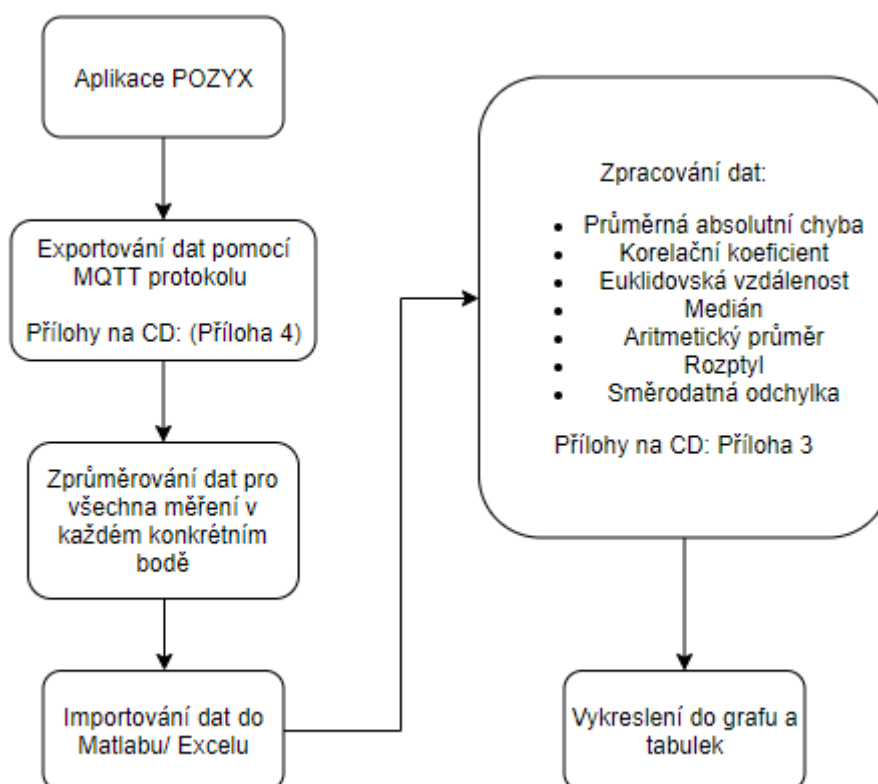
$$euk = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2} \quad (15)$$

### 3.8. Korelační koeficient (corr)

Vyjadřuje závislost mezi dvěma veličinami. Hodnoty této funkce nabývají hodnot od -1 až +1, čím více se výsledek funkce blíží k +1 tím více se dvě veličiny navzájem podobají, když se výsledná hodnota blíží k -1, značí rovněž shodu, ale veličiny se liší od sebe o 180°. Pokud se tato funkce pohybuje kolem 0, znamená to, že se dvě veličiny neshodují, v Matlabu je tato funkce předdefinovaná a vypočítá se pomocí corrcoef().

### 3.9. Blokové schéma zpracování dat

Blokové schéma zpracování dat, které bude použito v následujících měřeních 4.2 a 4.3.



Obrázek 8: Blokové schéma zpracování dat

## 4. Testování přesnosti systému POZYX

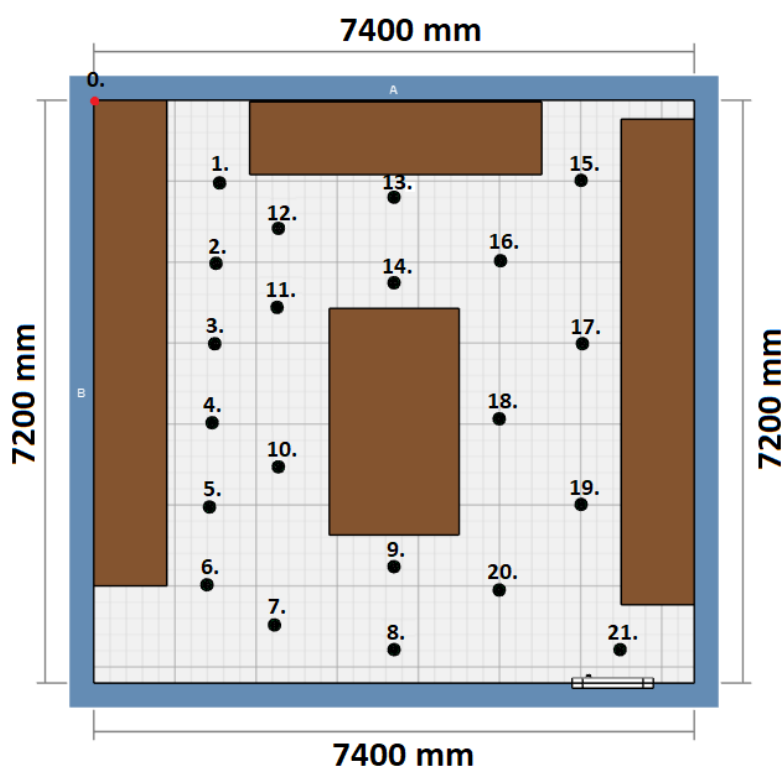
Pro všechny testy v této práci byl tag umístěn ve výši hrudi, tedy ve výši zhruba 1200 mm až 1600 mm od země, na levé paži sledované osoby.

Testy byly realizovány v laboratoři EB309 v budově FEI VŠB-TUO.

### 4.1. Příprava laboratoře před prováděním testů

Pro správnou interpretaci výsledků měření bylo nutno v laboratoři definovat referenční měřící body. Příprava laboratoře proběhla v těchto krocích:

- Přeměření laboratoře laserovým měřičem
- Pomocí kaučukové pásky byly vyznačeny body s definovanými souřadnicemi
- Bylo navrženo rozmístění referenčních bodů dle schématu uvedeného na obrázku níže:



Obrázek 9: Body v laboratoři

Souřadnice referenčních míst uvedeny v Tabulka 1. Začátek souřadného systému je v levém horním rohu na Obrázek 9 a je označen červenou tečkou.



Tabulka 1: Souřadnice bodů v laboratoři

	x [mm]	y [mm]		x [mm]	y [mm]
<b>0.</b>	0	0	<b>12.</b>	2100	1500
<b>1.</b>	1470	1000	<b>13.</b>	3700	1200
<b>2.</b>	1430	2000	<b>14.</b>	3700	2200
<b>3.</b>	1410	3000	<b>15.</b>	6000	1000
<b>4.</b>	1380	4000	<b>16.</b>	5000	1900
<b>5.</b>	1350	5000	<b>17.</b>	6000	3000
<b>6.</b>	1320	6000	<b>18.</b>	5000	3860
<b>7.</b>	1950	6500	<b>19.</b>	6000	4900
<b>8.</b>	3700	6700	<b>20.</b>	5000	5900
<b>9.</b>	3700	5700	<b>21.</b>	6410	6750

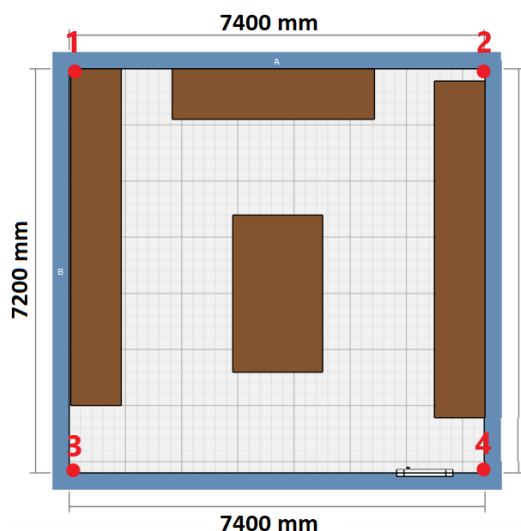
## 4.2. Testování rozmístění anchorů

První skupina testů byla prováděna za účelem ověření optimálních umístění anchorů v testovací místnosti. Měření tohoto experimentu probíhalo v těchto krocích:

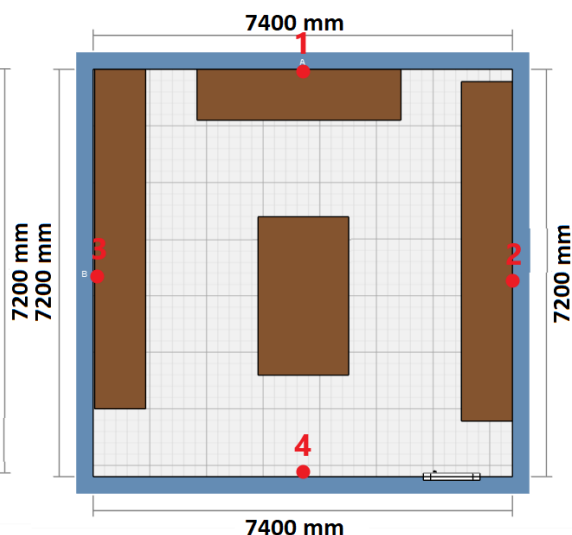
- Člověk, na kterém bylo měření prováděno stál v bodě, o kterém byly známy jeho přesné souřadnice viz Tabulka 1
- Měření bylo prováděno v bodech 1.;3.;5.;7.; 8.; 9.; 13.;15.;18.;21. viz Obrázek 9
- V každém bodě bylo měření prováděno po dobu 1 minuty
- Anchory byly umístěny do pozic podle Obrázek 10, Obrázek 11, Obrázek 12
- Nejdříve byly dány všechny anchory do výšek 0, 900, 1800 mm a poté se provedly další měření, přičemž výška jednoho anchoru byla jiná než ostatní (např. 0, 0, 0, 900) viz Tabulka 2

Tabulka 2: Přehled rozmístění anchorů v experimentech

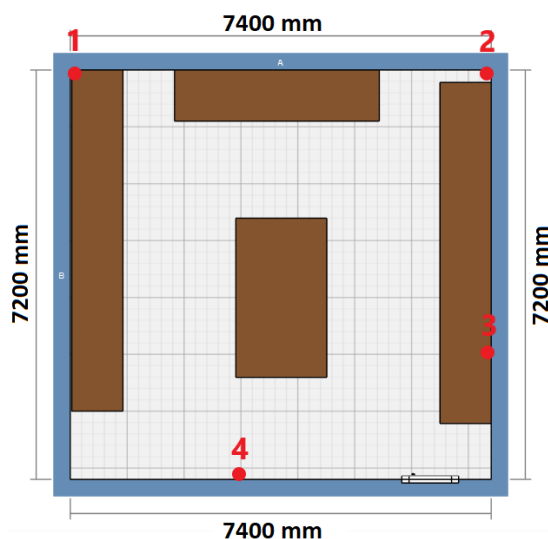
Číslo měření	Rozmístění anchorů	Výška anchoru 1 [mm]	Výška anchoru 2 [mm]	Výška anchoru 3 [mm]	Výška anchoru 4 [mm]
1.	1	0	0	0	0
2.	1	900	900	900	900
3.	1	1800	1800	1800	1800
4.	1	1800	1800	1800	0
5.	1	900	900	900	0
6.	1	1800	1800	1800	900
7.	1	900	900	900	1800
8.	1	0	0	0	900
9.	1	0	0	0	1800
10.	2	0	0	0	0
11.	2	900	900	900	900
12.	2	1800	1800	1800	1800
13.	2	1800	1800	1800	0
14.	2	900	900	900	0
15.	2	1800	1800	1800	900
16.	2	900	900	900	1800
17.	2	0	0	0	900
18.	2	0	0	0	1800
19.	3	0	0	0	0
20.	3	900	900	900	900
21.	3	1800	1800	1800	1800
22.	3	1800	1800	1800	0
23.	3	900	900	900	0
24.	3	1800	1800	1800	900
25.	3	900	900	900	1800
26.	3	0	0	0	900
27.	3	0	0	0	1800



Obrázek 10: Rozložení anchorů č.1 v laboratoři EB309



Obrázek 11: Rozložení anchorů č.2 v laboratoři EB309



Obrázek 12: Rozložení anchorů č.3 v laboratoři EB309

#### 4.2.1. Zpracování dat z testování rozmístění anchorů

Z aplikace POZYX byly exportovány zjištěné souřadnice sledovaného člověka pomocí MQTT protokolu (Příloha 4), z nichž v jednotlivých bodech byl vypočten aritmetický průměr z 27 opakování měření v každém jednom konkrétním bodě, zvláště pro složky pozice v ose x a y (Tabulka 3: sloupec x a y). Následně byla vypočtena absolutní hodnota z difference skutečné (Tabulka 1) a naměřené hodnoty (Tabulka 3: sloupec MAE x a MAE y). Dále se tyto hodnoty na jednotlivých osách zprůměrují (Tabulka 3: sloupec  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$ ), tedy byla provedena operace MAE (3.6), a z těchto průměrných odchylek na ose x a y je vypočten rovněž aritmetický průměr (Tabulka 3: sloupec  $\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ ). Všechny tyto výše uvedené operace byly ukládány do tabulek a byly nahrány do Matlabu v němž byly statisticky zpracovány (Příloha A).

Tabulka 3: Příklad záznamu měření č.1, anchory ve výšce 0 mm

Všechny anchory v úrovni 0								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
1.	1.	-813,13	1214,688	2283,13	214,688	613,735	453,5404	533,6377
	3.	316,77842	3265,897959	1093,2216	265,89796			
	5.	684,1141975	5261,103395	665,8858	261,1034			
	7.	2566,099634	6634,413162	616,09963	134,41316			
	8.	4336,73021	6723,641357	636,73021	23,641357			
	9.	3785,872641	5830,980188	85,872641	130,98019			
	13.	4060,036312	1641,10893	360,03631	441,10893			
	15.	5920,068638	-1299,6473	79,931362	2299,6473			
	18.	4910,662857	3620,3104	89,337143	239,6896			
	21.	6637,10539	7274,2344	227,10539	524,2344			

Funkce, které byly použity pro zpracování dat byla Euklidovská vzdálenost (3.7), již zmíněná funkce průměrná absolutní chyba (3.6) a byla použita funkce bodového grafu (Příloha Af) pro znázornění a porovnání bodů naměřených a skutečných. Euklidovská vzdálenost byla znázorněna pro celé měření (Příloha Ad), ale také pro jednotlivé body (Příloha Ae), tyto hodnoty byly následně vykresleny do sloupcových grafů pro jasnější porovnání mezi jednotlivými měřeními.

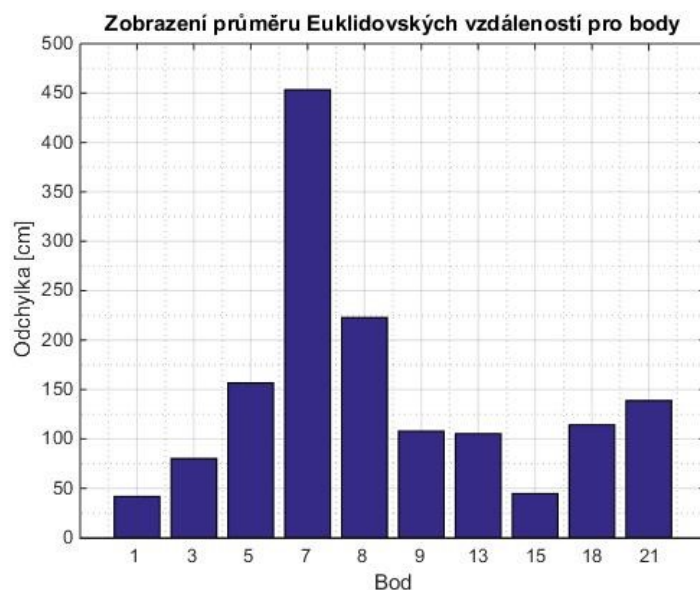
Vypočtené průměrné odchylky na osách ( $\bar{x}$  a  $\bar{y}$ ), byly zaznamenány do tabulky. Zde byl zaznamenán také aritmetický průměr Euklidovské vzdálenosti ( $\overline{euk}$ ) v jednotlivých měřeních. Z těchto dat se vypočetla směrodatná odchylka  $\sigma$  a rovněž byla zaznamenána do tabulky (Tabulka 4). Toto zobrazení bylo provedeno pro praktické a přehledné porovnání přesnosti jednotlivých měření.

Tabulka 4: Zobrazení odchylek na osách, průměrné Euklidovské vzdálenosti a jejich směrodatné odchylky

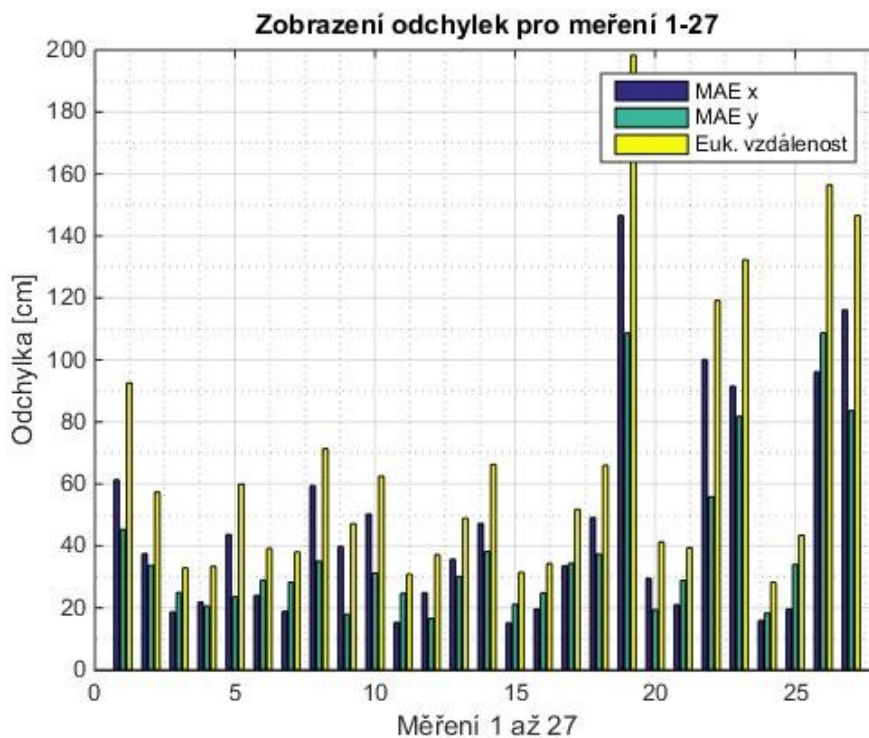
	$\bar{x}$ [cm]	$\pm \sigma_x$ [cm]	$\bar{y}$ [cm]	$\pm \sigma_y$ [cm]	$\overline{euk}$ [cm]	$\pm \sigma_{euk}$ [cm]
1.	61,3735	$\pm 67,26783$	45,35404	$\pm 66,49133$	92,55458	$\pm 76,80276$
2.	37,48021	$\pm 27,93945$	33,65753	$\pm 27,03993$	57,39554	$\pm 25,90453$
3.	18,65991	$\pm 10,73261$	24,9358	$\pm 13,29259$	32,83625	$\pm 13,10052$
4.	21,84853	$\pm 17,2165$	20,48504	$\pm 14,15437$	33,41699	$\pm 15,89475$
5.	43,645	$\pm 43,18468$	23,52975	$\pm 27,63816$	59,9463	$\pm 36,98172$
6.	23,96582	$\pm 13,80371$	28,96116	$\pm 16,76806$	39,13339	$\pm 18,4459$
7.	18,85905	$\pm 20,14293$	28,28849	$\pm 32,63512$	38,03418	$\pm 33,87908$
8.	59,42292	$\pm 46,064$	35,04458	$\pm 35,85747$	71,34237	$\pm 55,1398$
9.	39,82839	$\pm 48,69113$	17,90043	$\pm 16,6449$	47,16627	$\pm 47,90221$
10.	50,24147	$\pm 18,83571$	31,17108	$\pm 31,78749$	62,48853	$\pm 30,17967$
11.	15,29744	$\pm 9,850019$	24,68409	$\pm 19,86746$	30,89461	$\pm 19,18923$
12.	24,83787	$\pm 24,6745$	16,53918	$\pm 23,84327$	37,19206	$\pm 25,09568$
13.	35,68146	$\pm 24,0546$	30,13332	$\pm 23,91359$	48,88755	$\pm 30,30632$
14.	47,21417	$\pm 27,35492$	38,15321	$\pm 23,05302$	66,22174	$\pm 22,39261$
15.	15,13347	$\pm 16,57236$	21,16675	$\pm 21,18475$	31,487	$\pm 19,34239$
16.	19,59904	$\pm 16,81966$	24,79367	$\pm 19,0068$	34,32542	$\pm 21,09126$
17.	33,52484	$\pm 16,50037$	34,39475	$\pm 28,55743$	51,77891	$\pm 25,92443$
18.	49,09959	$\pm 30,52963$	37,34114	$\pm 29,6106$	65,96165	$\pm 34,67551$
19.	146,5617	$\pm 133,1985$	108,6454	$\pm 103,4216$	198,2875	$\pm 147,4235$
20.	29,50369	$\pm 27,71229$	19,34118	$\pm 18,55342$	41,28028	$\pm 24,52815$
21.	21,00715	$\pm 16,96046$	28,84259	$\pm 13,42669$	39,39042	$\pm 12,59318$
22.	100,0853	$\pm 96,64942$	55,85183	$\pm 61,44606$	119,1617	$\pm 109,2501$
23.	91,53872	$\pm 81,9046$	81,7705	$\pm 64,90706$	132,2534	$\pm 90,70074$
24.	15,89822	$\pm 13,92706$	18,29838	$\pm 14,94616$	28,26357	$\pm 13,51419$
25.	19,57084	$\pm 20,17168$	33,95232	$\pm 38,91665$	43,46865	$\pm 39,09414$
26.	96,13295	$\pm 64,62504$	108,7113	$\pm 69,3998$	156,3905	$\pm 72,2277$
27.	116,1549	$\pm 104,9463$	83,58119	$\pm 67,51618$	146,5541	$\pm 120,2525$

#### 4.2.2. Závěr testování rozmístění anchorů

Přesnost jednotlivých měření jasně říká, že pokud na sebe navzájem anchory nevidí, tedy mají mezi sebou překážku, pak přesnost měření rapidně klesá. Měření kdy jednotlivé anchory na sebe nevidí, například měření číslo 19 (Tabulka 25), je toho jasným důkazem. Měření číslo 11 (Tabulka 17) je jasným opakem, anchory jsou ve výšce kde na sebe navzájem všechny vidí a díky toho je přesnost mnohonásobně větší. Jakékoliv překážky, zejména kovové, způsobují poměrně velkou interferenci v měření. Příkladem interference je měření v bodě 7 (Obrázek 13), kdy bod je umístěn v těsné blízkosti přenosného ultrazvuku, kdy se Euklidovská vzdálenost znatelně liší od ostatních. Naopak bod 1 a 15 mají Euklidovské vzdálenosti nejmenší, z důvodu umístění poblíž anchorů, kdy mezi bodem a anchory neleží žádné překážky (Obrázek 13).



Obrázek 13: Průměr Euklidovské vzdálenosti v bodech

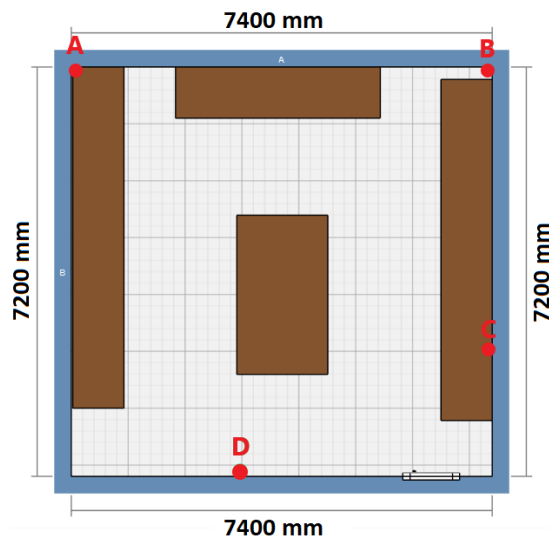


Obrázek 14: Průměrné odchylky jednotlivých měření 1 až 27

Nejpřesnější určení polohy mělo měření číslo 24, avšak měření číslo 11 a 15, bylo také velmi přesné. Toto vyhodnocení je provedeno na základě porovnání Euklidovských vzdáleností a MAE na osách x a y, kdy se tato zpracovaná data zobrazila ve sloupcovém grafu (Obrázek 14). Přesnost těchto měření je dána výškou umístění, to znamená, že mezi jednotlivými anchory nejsou žádné překážky.

V měření číslo 24 bylo rozložení anchorů podle Obrázek 15. Anchory mají tyto souřadnice:

A [0; 0; 1800]; B [7400; 0; 1800]; C [7400; 6000; 1800]; D [3700; 7190; 900], přičemž [x; y; z;] x je šířka, y délka a z výška.



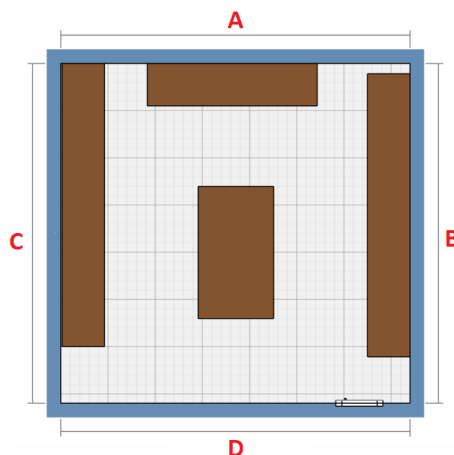
Obrázek 15: Ideální rozložení anchorů

Jelikož toto rozmístění anchorů mělo nejvyšší přesnost lokalizace, bude použito v delších měřeních

#### 4.3. Testování vlivu umístění tagu

Skupina těchto měření byla prováděna za účelem otestování vlivu umístění tagu na výsledném rozmístění anchorů z předchozího experimentu. Test byl prováděn v těchto krocích:

- Test byl prováděn s výsledným rozmístěním dle předchozího bodu (4.2.2)
- Měření bylo provedeno v bodech 1.;3.;5.;7.; 8.; 9.; 13.;15.;18.;21.
- V každém bodě bylo měření prováděno po dobu 1 minuty
- Tento test byl složen z 9 experimentů:
  - 1. – Tag byl umístěn na stojanu ve výšce 1400 mm
  - 2.-5. – Tag byl umístěn na stojanu ve výšce 1400 mm a během měření u stojanu stál člověk, který byl v blízkosti stojanu před, za, vlevo a vpravo od stojanu, každý směr byl měřen zvlášť
  - 6.-9. – Tag byl umístěn na člověku, který stál čelem na stranu A, B, C a D (Obrázek 16), přičemž každý směr byl měřen zvlášť



Obrázek 16: Směry v laboratoři

#### 4.3.1. Zpracování dat z testování ideálního rozmístění anchorů

Naměřená data byla stejně jako v předchozím bodě importována z aplikace POZYX pomocí MQTT protokolu, kdy byl z naměřených dat v jednotlivých bodech měření vypočten aritmetický průměr na jednotlivých osách (Tabulka 5: sloupec x a y). Nadcházející krok byl proveden MAE na osách (Tabulka 5: sloupec MAE x a MAE y), tedy odečtení skutečné a naměřené hodnoty, to celé v absolutní hodnotě. Byl vypočten aritmetický průměr z odchylek na osách, tedy zprůměrování sloupce MAE x a uložení do sloupce  $\bar{x}$  (Tabulka 5: sloupec  $\bar{x}$ ), stejný postup byl proveden i pro osu y (Tabulka 5: sloupec  $\bar{y}$ ). Posledním krokem bylo provedení aritmetického průměru z  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  (Tabulka 5: sloupec  $\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ ). Tímto postupem byla zpracována všechna měření a tyto tabulky byly nahrány do Matlabu pro provedení statistických operací (Příloha B).

Tabulka 5: Příklad záznamu měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na stojanu

	Ideální rozložení anchorů							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
28.	1.	1258,820276	1124,406682	211,17972	124,40668	126,2686	97,82593	112,0473
	3.	1339,126162	3093,138114	70,873838	93,138114			
	5.	1232,978702	4914,375254	117,0213	85,624746			
	7.	1837,095398	6455,712682	112,9046	44,287318			
	8.	3723,896335	6521,611518	23,896335	178,38848			
	9.	3521,433333	5758,587097	178,56667	58,587097			
	13.	3558,840088	1240,042716	141,15991	40,042716			
	15.	6111,106491	970,846856	111,10649	29,153144			
	18.	5211,018357	3638,918841	211,01836	221,08116			
	21.	6494,958711	6646,450151	84,958711	103,54985			

Pro další zpracování dat byla použita Euklidovská vzdálenost (3.7), zmíněná průměrná absolutní chyba (3.6) a korelační koeficient (3.8).

Z Euklidovské vzdálenosti a korelačního koeficientu byl vypočten aritmetický průměr, medián, rozptyl a směrodatná odchylka. Tyto výpočty byl zaznamenány do tabulky (Tabulka 6).

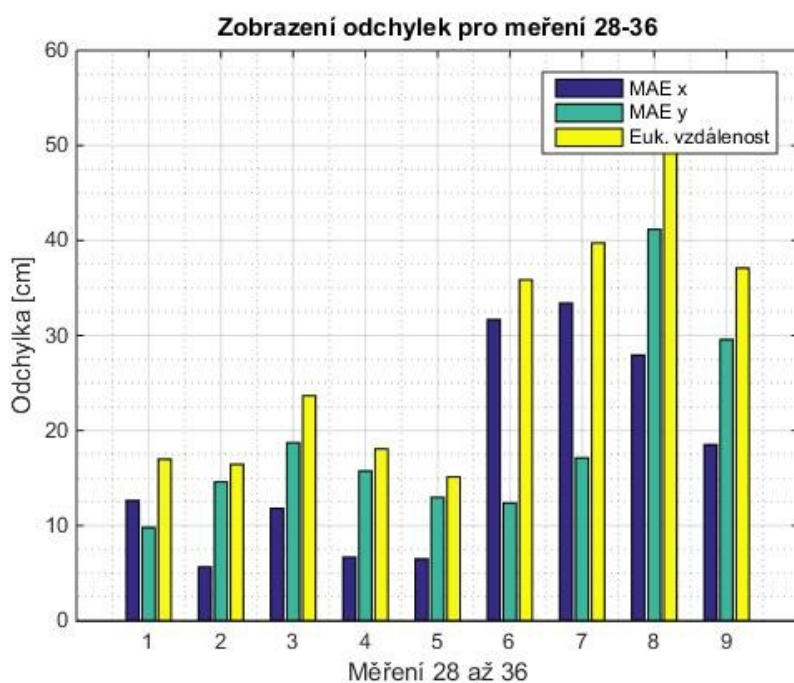
#### 4.3.2. Závěr testování ideálního rozmístění anchorů

Tímto měřením byl ověřen vliv umístění tagu na kvalitu měření v různých směrech a také ovlivnění přesnosti měření osobou.



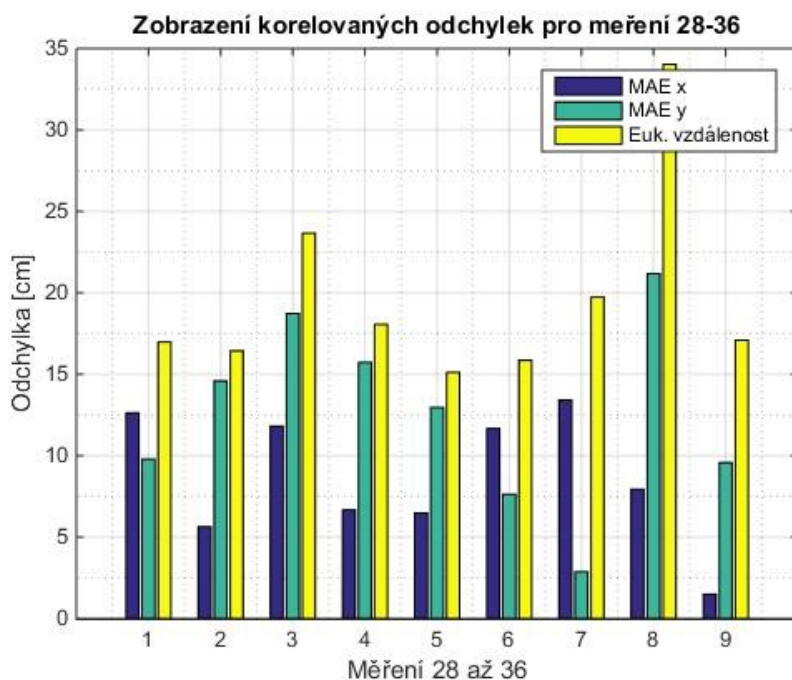
Tabulka 6: Statistická tabulka pro testování ideálního rozmístění anchorů

	<b>Euklidovská vzdálenost [mm]</b>	<b>corr x</b>	<b>corr y</b>
<b>28.</b>	169,750	0,9989	0,9991
<b>29.</b>	164,354	0,9994	0,9991
<b>30.</b>	236,630	0,9962	0,9986
<b>31.</b>	180,587	0,9995	0,9993
<b>32.</b>	151,160	0,9991	0,9994
<b>33.</b>	358,622	0,9969	0,9984
<b>34.</b>	397,321	0,9966	0,9983
<b>35.</b>	540,314	0,9872	0,9966
<b>36.</b>	370,933	0,9942	0,9977
$\bar{x}$	<b>285,5189</b>	<b>0,9964</b>	<b>0,9985</b>
$\tilde{x}$	<b>236,6303</b>	<b>0,9969</b>	<b>0,9986</b>
$\sigma^2$	<b>18699,5170</b>	<b>0,0000152</b>	<b>0,00000083</b>
$\sigma$	<b>136,7462</b>	<b>0,0039</b>	<b>0,000914</b>



Obrázek 17: Průměrné odchylky jednotlivých měření 28 až 36

Měření mělo vyšší přesnost určení pozice na ose x, pravděpodobně z důvodu menšího množství překážek na této ose (Obrázek 17). Chyba, tedy odchylka, lokalizace na osách je v rámci přesnosti do dvaceti centimetrů (Obrázek 17: MAE x a MAE y). Měření 33 až 36 (Obrázek 17: sloupec 6 až 9) na první pohled vykazuje větší chybu, která je větší přibližně o 20 cm, což způsobuje umístění tagu, kdy člověk má referenční bod ve středu těla a tag na levé paži, což způsobuje odchylku zhruba 20 cm (Obrázek 18). Korelační koeficient na obou osách je velmi vysoký, což značí téměř 100% shodu měřené a skutečné souřadnice (Tabulka 6: sloupec corr x a corr y). Euklidovská vzdálenost je rovněž velmi nízká, v průměru 285 mm (Tabulka 6), což udává velmi nízkou chybu měření v rámci přesnosti.



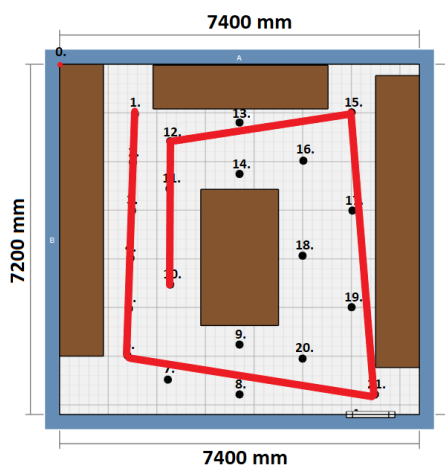
Obrázek 18: Korelované odchylky jednotlivých měření 28 až 36

Jednotlivé konfigurace tagu nijak neovlivňují přesnost určení polohy. Přesnost určení je náhodná a nemá souvislost s žádnou konfigurací tagu (Obrázek 18).

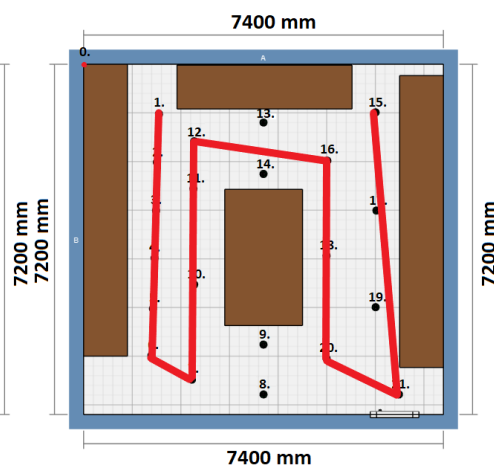
#### 4.4. Určování pohybu v laboratoři

Účelem tohoto měření bylo analyzovat schopnost lokalizace pohybu po laboratoři. Měření probíhalo v těchto krocích:

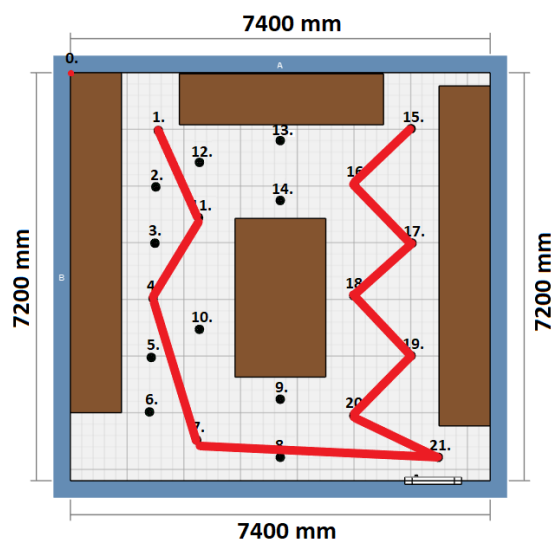
- Test byl prováděn s výsledným rozmístěním dle předchozího bodu (4.2.2)
- Test byl prováděn na osobě, která se pohybovala po předem daných třech různých trajektoriích (Obrázek 19, Obrázek 20, Obrázek 21)
- Pohyb po jedné dané trajektorii byl měřen šestkrát, přičemž byl tag umístěn na opasku, v náprsní kapse, na levé paži a následně tři stejná umístění tagu s více lidmi volně pohybující se po laboratoři



Obrázek 19: Předpokládaná trajektorie pohybu č.1



Obrázek 20: Předpokládaná trajektorie pohybu č.2



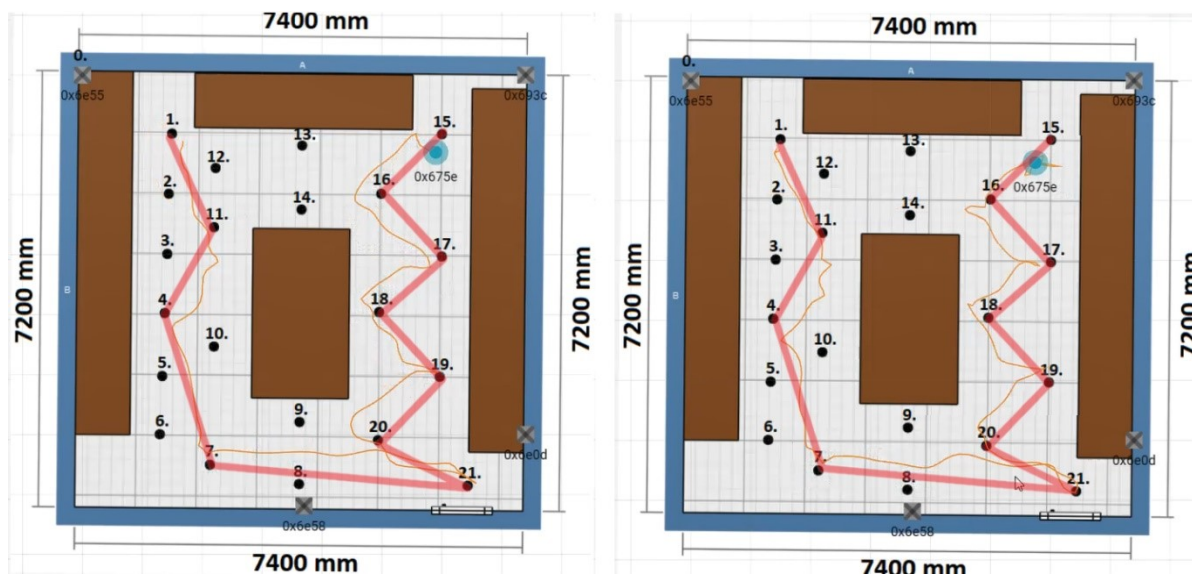
Obrázek 21: Předpokládaná trajektorie pohybu č.3

#### 4.4.1. Zpracování dat z určování pohybu v laboratoři

Pohyb po laboratoři byl uložen jako video záznam (Přílohy na CD: Příloha 1) a rovněž byla trajektorie uložena jako obrazový dokument, kde se naměřená trajektorie porovnávala s trajektorií skutečnou (Příloha C).

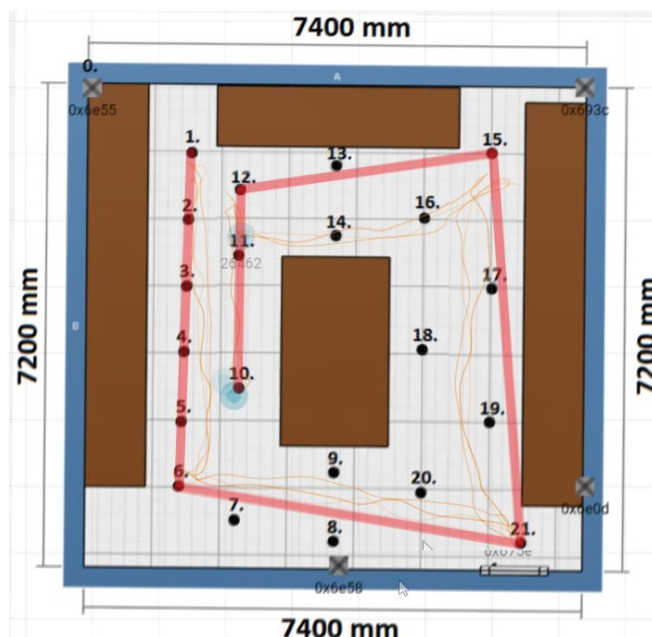
#### 4.4.2. Závěr určování pohybu v laboratoři

Tento experiment byl prováděn za účelem ověření funkčnosti a využití systému Pozyx. Přesnost těchto měření byla ve většině případů dostačující pro určení pohybu člověka. Dá se říci, že počet osob v místnosti nemá vliv na přesnost určení polohy (Obrázek 22).



Obrázek 22: Porovnání dvou měření, vlevo více lidí v místnosti

Díky tomuto experimentu bylo také zjištěno, že umístění tagu na člověku není nijak důležité, měření ve všech třech případech bylo téměř totožné (Obrázek 23).



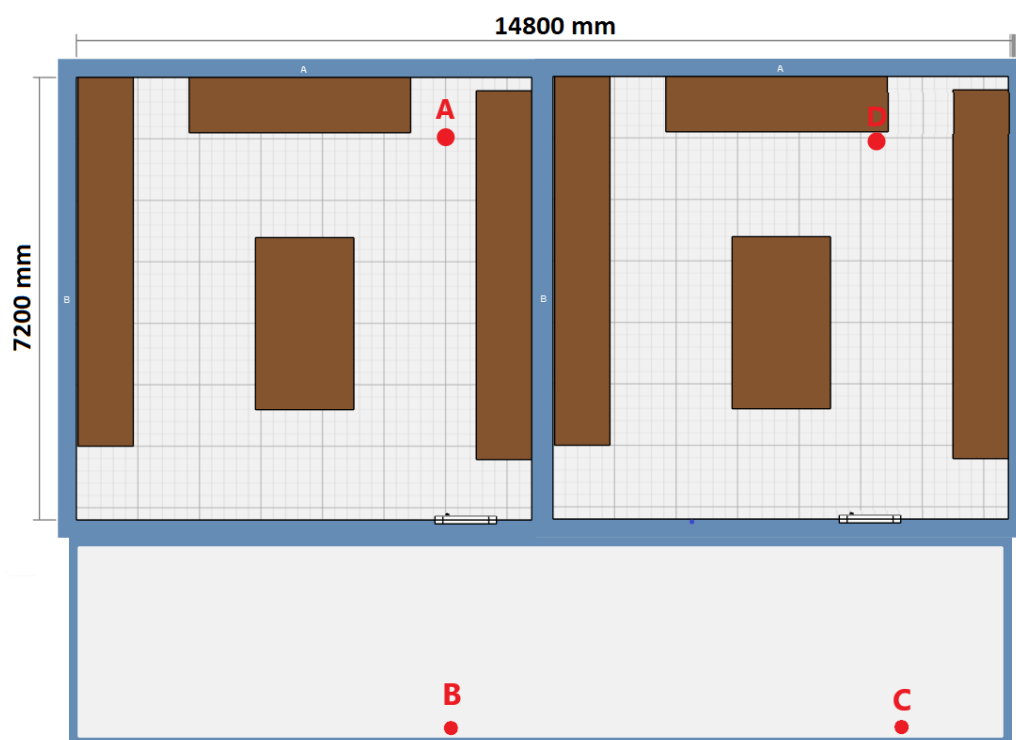
Obrázek 23: Všechna tři umístění tagu

V některých měřeních se objevují značně nedostačující výsledky lokalizace (Příloha Cb), tyto nedostatky byly pravděpodobně způsobeny velkým množstvím kovových předmětů v místnosti. Laboratoř je vybavena kovovými stoly, počítači, osciloskopy aj. Tuto skutečnost uvádí výrobce na svých webových stránkách [11].

#### 4.5. Určování polohy mezi dvěma laboratořemi

Účelem tohoto měření bylo analyzovat schopnost lokalizace pohybu mezi dvěma laboratořemi. Měření probíhalo v těchto krocích:

- Test byl prováděn ve dvou laboratořích
- Pro tento test bylo použito schéma pro rozložení anchorů z předešlého měření (4.2.2). Anchory byly nastaveny tak, aby na sebe navzájem viděly alespoň tři, v tomto případě na sebe navzájem viděly anchory A-B-C a B-C-D viz. Obrázek 24
- Lokalizace jedné a následně dvou osob, které se pohybovali mezi dvěma laboratořemi po předem dané trajektorii (Obrázek 25), měření bylo prováděno třikrát pro jednu i dvě osoby, tag byl umístěn na opasku, v náprsní kapse a na levé paži



Obrázek 24: Rozložení anchorů pro dvě laboratoře



Obrázek 25: Předpokládaná trajektorie mezi dvěma laboratořemi

#### 4.5.1. Zpracování dat z určování polohy mezi dvěma laboratořemi

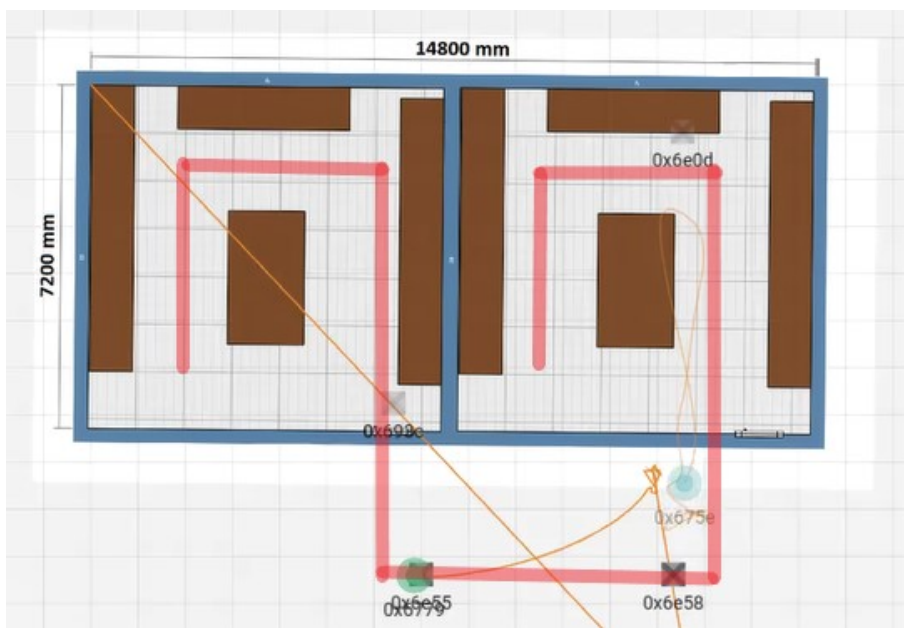
Pohyb mezi dvěma laboratořemi byl uložen jako videozáznam (Přílohy na CD: Příloha 2) a rovněž byla trajektorie pohybu uložena jako obrázkový dokument, kde se naměřená trajektorie porovnávala s trajektorií skutečnou.

#### 4.5.2. Závěr určování polohy mezi dvěma laboratořemi

Anchorů mezi sebou neuměly komunikovat a dokázaly určit polohu jen na chodbě a v jedné z laboratoří, a to velmi nepřesně (Obrázek 26, Obrázek 27).



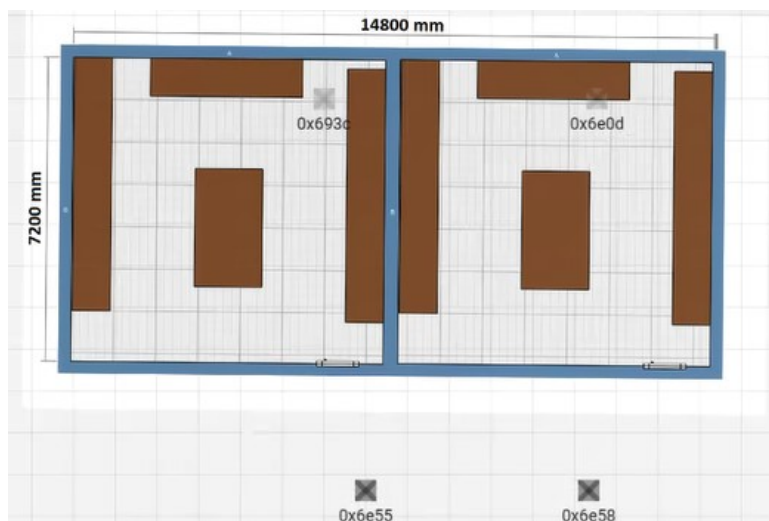
Obrázek 26: Záznam měření mezi dvěma laboratořemi



Obrázek 27: Záznam měření mezi dvěma laboratořemi pro dvě osoby

Toto měření není možné provést se čtyřmi anchorů. Pro lokalizaci mezi více místnostmi je nutné mít hustou síť anchorů, které na sebe navzájem v různých úhlech uvidí [12].

Pro lokalizaci tímto systémem je nutné mít aktivní nejméně tři anchorů, tato skutečnost byla ověřena tímto měřením (Obrázek 28), na tomto obrázku jsou anchorů 0x6e55 a 0x6e58 aktivní a anchorů 0x693c a 0x6e0d aktivní nejsou, kvůli nedostatečnému signálu mezi nimi. V důsledku toho není možné vidět měřenou osobu, protože systém Pozyx není schopen trilaterace.



*Obrázek 28: Aktivní pouze dva anchory, ostatní anchory odpojeny z důvodu nedostatku signálu*

Z tohoto měření není jasné, zdali přesnost lokalizace ovlivňuje počet aktivních tagů, jelikož jediný záznam měření, na kterém je viditelný pohyb není nijak přesný a zaznamenává pohyb jen v krátkém úseku (Obrázek 27).

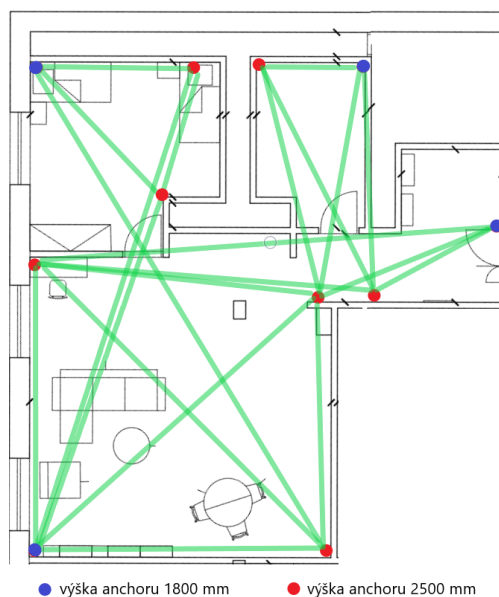


## 5. Navržení lokalizace v telemetrickém bytě

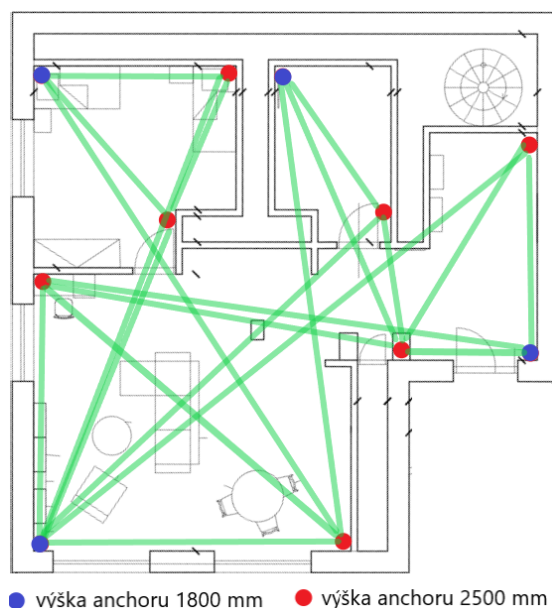
Tento bod je pouze teoretické navržení sítě anchorů. Cílem je navržení lokalizační sítě, která bude schopna lokalizovat pohyb v telemetrických bytech.

Pro návrh byly použity zkušenosti a výsledky ze všech předešlých experimentů. Hlavní podmínkou pro navržení rozmístění bylo to, aby na sebe všechny anchory viděly, to ovšem není ve všech případech možné. Tato podmínka se dá kompenzovat tím, že v bytě bude vytvořena hustá síť anchorů, která pokryje celý byt. Ideálním řešením je tedy síť anchorů, kde každý z umístěných anchorů uvidí na další dva, optimálně na další tři anchory, pro zajištění přesné lokalizace a funkčnosti Trilaterace.

K dispozici byl půdorys prvního i druhého bytu, do kterého byla síť anchorů navrhována. Výsledkem jsou dva půdorysy bytů s navrženou lokalizační sítí (Obrázek 29, Obrázek 30).



Obrázek 29: Navržení rozmístění anchorů pro telemetrický byt č. 1



Obrázek 30: Navržení rozmístění anchorů pro telemetrický byt č. 2



## 6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se s lokalizačními systémy a následné testování systému Pozyx, jež využívá širokopásmovou technologii tedy Ultra Wide band (UWB).

Testování systému probíhalo na řadě experimentů, kde byly testovány lokalizační schopnosti systému Pozyx.

Proběhla řada experimentů, kdy se ověřovala přesnost a celková funkčnost systému na ideálním rozmístění anchorů. Přesnost systému se pohybovala v rozmezí od desíti do dvaceti centimetrů, což v případě lokalizace v laboratoři je dostačující. Následné sledování osoby, která se pohybovala po laboratoři, měla za úkol určit, zda umístění tagu a počet osob ovlivňuje měření. Výsledek tohoto experimentu ukázal, že vliv umístění tagu a počet osob v místnosti nijak nenarušuje a neovlivňuje přesnost lokalizace

Analýza naměřených hodnot ukázaly, že nejdůležitějším faktorem ovlivňující lokalizaci je viditelnost anchorů mezi sebou. Tudiž fakt, že anchory mohou mezi sebou bezproblémově komunikovat, což dokazují závěry uvedené v kapitole 4.2. Dalším činitelem, který ovlivňuje přesnost lokalizace, je nesymetrické rozložení anchorů. Tedy že výška anchorů by nemělo být stejná což dokazují experimenty 7, 18 a 24 v kapitole 4.2. Neopomenutelným poznatkem tohoto experimentu byla také skutečnost, že výskyt kovů v bezprostřední blízkosti lokalizované osoby značně narušuje přesnost a funkčnost systému Pozyx, jak ukazují výsledky prezentované v kapitole 4.2.

Jako poslední bod této práce bylo navržení sítě anchorů do telemetrických bytů. Byly využity poznatky a zkušenosti nasbírané během testování a následně bylo provedeno navržení sítě. Tyto navržené sítě anchorů splňují jak viditelnost anchorů mezi sebou, tak i nesymetričnost rozmístění a v neposlední řadě různé výšky aktivních anchorů. Síť byla navržena tak, aby každý z jednotlivých anchorů viděl na další dva, ideálně na další tři anchory pro bezproblémovou funkčnost a přesnost určení pozice využívaného systému, tedy pro splnění trilaterace.

Tento systém se v budoucnu budu pokoušet obohatit o software, jež bude rozpoznávat případný pád, dlouhodobou nehybnost sledované osoby a další incidenty které mohou nastat u osob s omezenou hybností či jinými postiženími a po rozpoznání či zaznamenání těchto incidentů zkontaktovat osoby k tomu určené.

## 7. Zdroje

- [1] How does ultra-wideband work. *Pozyx* [online]. Belgie: Pozyx BVBA, 2015 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: [https://www.pozyx.io/Documentation/how\\_does\\_uwb\\_work](https://www.pozyx.io/Documentation/how_does_uwb_work)
- [2] How does positioning work. *Pozyx* [online]. Belgie: Pozyx BVBA, 2015 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: [https://www.pozyx.io/Documentation/how\\_does\\_positioning\\_work](https://www.pozyx.io/Documentation/how_does_positioning_work)
- [3] WYMEERSCH, Henk, Jaime LIEN a Moe Z. WIN. Cooperative Localization in Wireless Networks. *Proceedings of the IEEE* [online]. 2009, **97**(2), 427-450 [cit. 2018-12-28]. DOI: 10.1109/JPROC.2008.2008853. ISSN 0018-9219. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4802193/>
- [4] SAED, Rashi A., Sabira KHATUN, Borhanuddin Mohd. ALI a Mohd. A. KHAZANI. 78 ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS, AND COMMUNICATIONS VOL.4: Performance of Ultra-Wideband Time-of-Arrival Estimation Enhanced With Synchronization Scheme. *78 ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS, AND COMMUNICATIONS VOL.4*. 2006, **2006**(78), 7.
- [5] Ultra-wideband. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>
- [6] CHANG, SangHyun, Naoki MITSUMOTO a Joel W. BURDICK. An algorithm for UWB radar-based human detection. In: *2009 IEEE Radar Conference* [online]. IEEE, 2009, 2009, s. 1-6 [cit. 2018-12-29]. DOI: 10.1109/RADAR.2009.4976999. ISBN 978-1-4244-2870-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4976999/>
- [7] YANG, Chouchang a Huai-rong SHAO. WiFi-based indoor positioning. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2015, **53**(3), 150-157 [cit. 2018-06-18]. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7060497. ISSN 0163-6804. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7060497/>
- [8] T, Carlos E. Galvan, Issac GALVAN-TEJADA, Ernesto Ivan SANDOVAL a Ramon BRENA. Wifi Bluetooth based combined positioning algorithm. *Procedia Engineering* [online]. 2012, **35**, 101-108 [cit. 2018-06-18]. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.04.170. ISSN 18777058. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187770581201805X>
- [9] BRÍDA, Peter, Radovan MATUSÍK a Ján DÚHA. LOKALIZACIA V AD HOC SIETACH POMOCO TECHNOLOGIE BLUETOOTH/BLUETOOTH BASED POSITIONING FOR AD HOC NETWORKS. *Scientific papers* [online]. Liptovský Mikuláš: Armed Forces Academy, 2008, 2008, 2008(210411122), 26-31 [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: <https://search.proquest.com/docview/210411122?accountid=26990>
- [10] MQTT. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT>
- [11] Ultra-wideband and obstacles: Metals. *Pozyx* [online]. Belgie: Pozyx BVBA, 2015 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.pozyx.io/pozyx-academy/uwb-and-obstacles>

- [12] Pozyx Companion Software: Deployment tools. *Pozyx: Deployment tools* [online]. Belgie: Pozyx BVBA, 2015 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.pozyx.io/product-info/companion-software>
- [13] Rozptyl (statistika). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozptyl\\_\(statistika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozptyl_(statistika))
- [14] Aritmetický průměr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD\\_pr%C5%AFm%C4%9Br](https://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD_pr%C5%AFm%C4%9Br)

# Seznam příloh

## 1) Tištěné přílohy

Seznam příloh.....	I
Seznam obrázků v příloze .....	III
Příloha A: Výsledky testování rozložení anchorů.....	V
a. Testování rozložení anchorů č. 1 (Obrázek 10).....	V
b. Testování rozložení anchorů č.2 ( Obrázek 11).....	VIII
c. Testování rozložení anchorů č. 3 (Obrázek 12).....	XII
d. Zobrazení Euklidovských vzdáleností pro jednotlivá měření .....	XV
e. Zobrazení Euklidovských vzdáleností pro jednotlivé body .....	XXX
f. Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů v jednom grafu.....	XXXV
Příloha B: Výsledky testování ideálního rozložení anchorů.....	XLIX
Příloha C: Výsledky určování pohybu v laboratoři .....	LIII
a. Výsledky lokalizace trajektorie č.1 (Obrázek 18) .....	LIII
b. Výsledky lokalizace trajektorie č.2 ( Obrázek 19) .....	LVI
c. Výsledky lokalizace trajektorie č.2 (Obrázek 20) .....	LIX

## 2) Přílohy na CD

<b>Příloha 1</b>	Záznamy pohybu v jedné laboratoři
<b>Příloha 2</b>	Záznamy pohybu ve dvou laboratořích
<b>Příloha 3</b>	Kód v Matlabu pro vypočtení statistických funkcí a vykreslení grafu
<b>Příloha 4</b>	MQTT kód pro importování dat ze systému POZYX

## Seznam tabulek v příloze

Tabulka 7: Záznamu měření č.1, anchory ve výšce 0 mm .....	V
Tabulka 8: Záznam měření č.1, anchory ve výšce 900 mm .....	V
Tabulka 9: Záznam měření č.1, anchory ve výšce 1800 mm .....	VI
Tabulka 10: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm .....	VI
Tabulka 11: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm .....	VI
Tabulka 12: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm .....	VII
Tabulka 13: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm .....	VII
Tabulka 14: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm .....	VII
Tabulka 15: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm .....	VIII
Tabulka 16: Záznamu měření č.2, anchory ve výšce 0 mm .....	VIII
Tabulka 17: Záznam měření č.2, anchory ve výšce 900 mm .....	IX
Tabulka 18: Záznam měření č.2, anchory ve výšce 1800 mm .....	IX
Tabulka 19: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm .....	IX
Tabulka 20: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm .....	X
Tabulka 21: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm .....	X
Tabulka 22: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm .....	X
Tabulka 23: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm .....	XI
Tabulka 24: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm .....	XI
Tabulka 25: Záznamu měření č.3, anchory ve výšce 0 mm .....	XII
Tabulka 26: Záznam měření č.3, anchory ve výšce 900 mm .....	XII
Tabulka 27: Záznam měření č.3, anchory ve výšce 1800 mm .....	XIII
Tabulka 28: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm .....	XIII
Tabulka 29: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm .....	XIII
Tabulka 30: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm ...	XIV
Tabulka 31: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm ...	XIV
Tabulka 32: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm .....	XIV
Tabulka 33: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm .....	XV
Tabulka 34: Průměr euklidovské vzdálenosti a směrodatná odchylka pro měření 1 až 27 .....	XXIX
Tabulka 35: Záznamu měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na stojanu .....	XLIX
Tabulka 36: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí před stojanem .....	XLIX
Tabulka 37: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí za stojanem .....	L
Tabulka 38: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí vpravo od stojanu .....	L
Tabulka 39: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí vlevo od stojanu.....	L
Tabulka 40: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vpřed (strana D).....	LI
Tabulka 41: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vzad (strana A).....	LI
Tabulka 42: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vpravo (strana C).....	LI
Tabulka 43: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vlevo (strana B).....	LII

## Seznam obrázků v příloze

Obrázek 31: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 1 .....	XV
Obrázek 32: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 2 .....	XVI
Obrázek 33: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 3 .....	XVI
Obrázek 34: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 4 .....	XVII
Obrázek 35: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 5 .....	XVII
Obrázek 36: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 6 .....	XVIII
Obrázek 37: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 7 .....	XVIII
Obrázek 38: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 8 .....	XIX
Obrázek 39: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 9 .....	XIX
Obrázek 40: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 10 .....	XX
Obrázek 41: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 11 .....	XX
Obrázek 42: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 12 .....	XXI
Obrázek 43: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 13 .....	XXI
Obrázek 44: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 14 .....	XXII
Obrázek 45: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 15 .....	XXII
Obrázek 46: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 16 .....	XXIII
Obrázek 47: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 17 .....	XXIII
Obrázek 48: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 18 .....	XXIV
Obrázek 49: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 19 .....	XXIV
Obrázek 50: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 20 .....	XXV
Obrázek 51: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 21 .....	XXV
Obrázek 52: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 22 .....	XXVI
Obrázek 53: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 23 .....	XXVI
Obrázek 54: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 24 .....	XXVII
Obrázek 55: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 25 .....	XXVII
Obrázek 56: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 26 .....	XXVIII
Obrázek 57: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 27 .....	XXVIII
Obrázek 58: Euklidovské vzdálenosti pro bod 1 .....	XXX
Obrázek 59: Euklidovské vzdálenosti pro bod 3 .....	XXX
Obrázek 60: Euklidovské vzdálenosti pro bod 5 .....	XXXI
Obrázek 61: Euklidovské vzdálenosti pro bod 7 .....	XXXI
Obrázek 62: Euklidovské vzdálenosti pro bod 8 .....	XXXII
Obrázek 63: Euklidovské vzdálenosti pro bod 9 .....	XXXII
Obrázek 64: Euklidovské vzdálenosti pro bod 13 .....	XXXIII
Obrázek 65: Euklidovské vzdálenosti pro bod 15 .....	XXXIII
Obrázek 66: Euklidovské vzdálenosti pro bod 18 .....	XXXIV
Obrázek 67: Euklidovské vzdálenosti pro bod 21 .....	XXXIV
Obrázek 68: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 1 .....	XXXV
Obrázek 69: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 2 .....	XXXV
Obrázek 70: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 3 .....	XXXVI
Obrázek 71: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 4 .....	XXXVI
Obrázek 72: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 5 .....	XXXVII
Obrázek 73: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 6 .....	XXXVII
Obrázek 74: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 7 .....	XXXVIII
Obrázek 75: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 8 .....	XXXVIII
Obrázek 76: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 9 .....	XXXIX
Obrázek 77: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 10 .....	XXXIX
Obrázek 78: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 11 .....	XL

Obrázek 79: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 12 .....	XL
Obrázek 80: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 13 .....	XLI
Obrázek 81: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 14 .....	XLI
Obrázek 82: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 15 .....	XLII
Obrázek 83: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 16 .....	XLII
Obrázek 84: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 17 .....	XLIII
Obrázek 85: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 18 .....	XLIII
Obrázek 86: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 19 .....	XLIV
Obrázek 87: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 20 .....	XLIV
Obrázek 88: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 21 .....	XLV
Obrázek 89: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 22 .....	XLV
Obrázek 90: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 23 .....	XLVI
Obrázek 91: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 24 .....	XLVI
Obrázek 92: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 25 .....	XLVII
Obrázek 93: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 26 .....	XLVII
Obrázek 94: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 27 .....	XLVIII
Obrázek 95: Záznamu měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na levé paži .....	LIII
Obrázek 96: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na opasku .....	LIII
Obrázek 97: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn v náprsní kapse .....	LIV
Obrázek 98: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na levé paži a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LIV
Obrázek 99: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na opasku a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LV
Obrázek 100: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn v náprsní kapse a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LV
Obrázek 101: Záznamu měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na levé paži .....	LVI
Obrázek 102: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na opasku .....	LVI
Obrázek 103: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn v náprsní kapse .....	LVII
Obrázek 104: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na levé paži a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LVII
Obrázek 105: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na opasku a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LVIII
Obrázek 106: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn v náprsní kapse a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LVIII
Obrázek 107: Záznamu měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na levé paži .....	LIX
Obrázek 108: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na opasku .....	LIX
Obrázek 109: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn v náprsní kapse .....	LX
Obrázek 110: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na levé paži a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LX
Obrázek 111: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na opasku a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LXI
Obrázek 112: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn v náprsní kapse a měření je prováděno s více lidmi v místnosti.....	LXI

## Příloha A Výsledky testování rozložení anchorů

### a. Testování rozložení anchorů č. 1 (Obrázek 10)

Tabulka 7: Záznamu měření č.1, anchory ve výšce 0 mm

Všechny anchory v úrovni 0								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
1.	1.	-813,13	1214,688	2283,13	214,688	613,735	453,5404	533,6377
	3.	316,77842	3265,897959	1093,2216	265,89796			
	5.	684,1141975	5261,103395	665,8858	261,1034			
	7.	2566,099634	6634,413162	616,09963	134,41316			
	8.	4336,73021	6723,641357	636,73021	23,641357			
	9.	3785,872641	5830,980188	85,872641	130,98019			
	13.	4060,036312	1641,10893	360,03631	441,10893			
	15.	5920,068638	-1299,6473	79,931362	2299,6473			
	18.	4910,662857	3620,3104	89,337143	239,6896			
	21.	6637,10539	7274,2344	227,10539	524,2344			

Tabulka 8: Záznam měření č.1, anchory ve výšce 900 mm

Všechny anchory v úrovni 900								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
2.	1.	1001,08769	1197,19981	468,91231	197,19981	374,8021	336,5753	355,6887
	3.	1377,88068	3400,235795	32,11932	400,2358			
	5.	1371,039795	5454,224489	21,039795	454,22449			
	7.	2382,404392	6442,401808	432,40439	57,598192			
	8.	4490,5223	6615,841131	790,5223	84,158869			
	9.	4041,484943	5882,249221	341,48494	182,24922			
	13.	4263,709602	1728,742388	563,7096	528,74239			
	15.	5741,912454	970,9314079	258,08755	29,068592			
	18.	5751,90449	4709,816723	751,90449	849,81672			
21.	6497,836101	6167,541528	87,836101	582,45847				



Tabulka 9: Záznam měření č.1, anchory ve výšce 1800 mm

Všechny anchory v úrovni 1800								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
3.	1.	1650,4655	1060,066805	180,4655	60,066805	186,5991	249,358	217,9786
	3.	1276,565922	2727,040567	133,43408	272,95943			
	5.	1379,9099	4845,469306	29,9099	154,53069			
	7.	1898,12474	6173,814969	51,87526	326,18503			
	8.	3406,7967	6490,51401	293,2033	209,48599			
	9.	3325,61894	6188,222466	374,38106	488,22247			
	13.	3468,496519	1589,932714	231,50348	389,93271			
	15.	6223,12251	1184,003311	223,12251	184,00331			
	18.	4888,449631	4166,481572	111,55037	306,48157			
	21.	6646,545751	6648,287581	236,54575	101,71242			

Tabulka 10: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm

Všechny anchory v úrovni 1800, jeden v úrovni 0								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
4.	1.	1513,089244	1117,19222	43,089244	117,19222	218,4853	204,8504	211,6679
	3.	1805,01101	3227,45374	395,01101	227,45374			
	5.	1825,29218	5043,804526	475,29218	43,804526			
	7.	2010,04157	6231,47344	60,04157	268,52656			
	8.	3525,89733	6559,40657	174,10267	140,59343			
	9.	3626,45578	5540,54648	73,54422	159,45352			
	13.	3474,585903	1131,632158	225,4141	68,367842			
	15.	6378,050387	1176,22093	378,05039	176,22093			
	18.	5356,735849	4385,72327	356,73585	525,72327			
	21.	6413,572	7071,168	3,572	321,168			

Tabulka 11: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm

Všechny anchory v úrovni 900, jeden v úrovni 0								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
5.	1.	1387,114146	1288,2839	82,885854	288,2839	436,45	235,2975	335,8738
	3.	1379,65022	3151,376255	30,34978	151,37626			
	5.	1502,4136	5337,072463	152,4136	337,07246			
	7.	2283,232188	6491,124895	333,23219	8,875105			
	8.	4781,51494	6561,447126	1081,5149	138,55287			
	9.	4370,138002	5733,389289	670,138	33,389289			
	13.	3830,890502	1580,543016	130,8905	380,54302			
	15.	5851,96544	76,96753	148,03456	923,03247			
	18.	5494,521428	3912,21428	494,52143	52,21428			
	21.	7650,51964	6710,36475	1240,5196	39,63525			

Tabulka 12: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm

Všechny anchory v úrovni 1800, jeden v úrovni 900								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
6.	1.	1621,243498	779,345153	151,2435	220,65485	239,6582	289,6116	264,6349
	3.	1523,338557	2803,316614	113,33856	196,68339			
	5.	1522,744186	4687,395348	172,74419	312,60465			
	7.	1991,65032	6198,54901	41,65032	301,45099			
	8.	3462,572429	6637,595794	237,42757	62,404206			
	9.	3422,601398	5352,583916	277,3986	347,41608			
	13.	3246,32967	1416,04657	453,67033	216,04657			
	15.	6229,131355	1278,440677	229,13136	278,44068			
	18.	4522,2625	4570,2475	477,7375	710,2475			
	21.	6167,76	6499,8333	242,24	250,1667			

Tabulka 13: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm

Všechny anchory v úrovni 900, jeden v úrovni 1800								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
7.	1.	1435,27895	1040,673758	34,72105	40,673758	188,5905	282,8849	235,7377
	3.	1345,53366	2600,753117	64,46634	399,24688			
	5.	1187,382716	4729,02222	162,61728	270,97778			
	7.	1969,468379	6278,636363	19,468379	221,36364			
	8.	3033,729466	6577,783854	666,27053	122,21615			
	9.	3598,737945	5613,327044	101,26205	86,672956			
	13.	3509,906706	1562,396501	190,09329	362,3965			
	15.	6270,435013	1074,190981	270,43501	74,190981			
	18.	4646,943661	5001,974648	353,05634	1141,9746			
	21.	6386,485507	6859,135269	23,514493	109,13527			

Tabulka 14: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm

Všechny anchory v úrovni 0, jeden v úrovni 900								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
8.	1.	792,304424	1366,00354	677,69558	366,00354	594,2292	350,4458	472,3375
	3.	1429,586868	3131,973737	19,586868	131,97374			
	5.	777,954361	5284,096349	572,04564	284,09635			
	7.	2310,04509	6480,12224	360,04509	19,87776			
	8.	4896,736183	6255,501564	1196,7362	444,49844			
	9.	4179,949044	5466,151804	479,94904	233,8482			
	13.	3996,686659	1582,894519	296,68666	382,89452			
	15.	4530,42393	-301,944071	1469,5761	1301,9441			
	18.	4908,258341	3716,067683	91,741659	143,93232			
	21.	7188,228864	6554,610589	778,22886	195,38941			

Tabulka 15: Záznam měření č.1, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm

	Všechny anchory v úrovni 0, jeden v úrovni 1800							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
9.	1.	1571,116625	881,347394	101,11663	118,65261	398,2839	179,0043	288,6441
	3.	1782,88349	2968,58495	372,88349	31,41505			
	5.	1775,554263	5074,6124	425,55426	74,6124			
	7.	2036,68038	6259,55205	86,68038	240,44795			
	8.	3894,151315	6654,418859	194,15132	45,581141			
	9.	3602,2448	5637,745958	97,7552	62,254042			
	13.	3489,72406	1559,591611	210,27594	359,59161			
	15.	7703,22222	839,1174	1703,2222	160,8826			
	18.	5591,47741	4417,53118	591,47741	557,53118			
	21.	6609,721822	6889,07434	199,72182	139,07434			

### b. Testování rozložení anchorů č.2 (Obrázek 11)

Tabulka 16: Záznamu měření č.2, anchory ve výšce 0 mm

	Všechny anchory v úrovni 0							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
10.	1.	902,7522299	327,6798811	567,24777	672,32012	502,4147	311,7108	407,0628
	3.	797,7233146	2022,994382	612,27669	977,00562			
	5.	865,3916256	5034,397783	484,60837	34,397783			
	7.	1296,219512	6690,545296	653,78049	190,5453			
	8.	2924,282903	7164,311193	775,7171	464,31119			
	9.	3241,477273	5912,440341	458,52273	212,44034			
	13.	3220,844178	1243,405822	479,15582	43,405822			
	15.	6055,272101	991,3386912	55,272101	8,6613088			
	18.	4516,326174	3971,738255	483,67383	111,73826			
	21.	5956,108202	6347,717277	453,8918	402,28272			

Tabulka 17: Záznam měření č.2, anchory ve výšce 900 mm

	Všechny anchory v úrovni 900							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
11.	1.	1519,264088	1076,94033	49,264088	76,94033	152,9744	246,8409	199,9076
	3.	1460,277599	2831,763129	50,277599	168,23687			
	5.	1127,461725	5633,871202	222,53828	633,8712			
	7.	1773,248366	6338,921568	176,75163	161,07843			
	8.	3746,697978	6488,780023	46,697978	211,21998			
	9.	3926,679157	5362,955504	226,67916	337,0445			
	13.	3505,313542	1232,75	194,68646	32,75			
	15.	5972,199792	1187,173777	27,800208	187,17378			
	18.	4721,640835	3977,438152	278,35917	117,43815			
	21.	6666,689204	7292,655398	256,6892	542,6554			

Tabulka 18: Záznam měření č.2, anchory ve výšce 1800 mm

	Všechny anchory v úrovni 1800							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
12.	1.	1666,49325	935,867082	196,49325	64,132918	248,3787	165,3918	206,8852
	3.	1779,643243	3100,456216	369,64324	100,45622			
	5.	1354,545699	4695,193548	4,5456989	304,80645			
	7.	1885,236129	5705,861935	64,763871	794,13806			
	8.	3639,047195	6700,128228	60,952805	0,128228			
	9.	3033,382979	5688,851064	666,61702	11,148936			
	13.	3637,188014	1387,130435	62,811986	187,13043			
	15.	6590,069922	936,8579356	590,06992	63,142064			
	18.	4960,639013	3794,846413	39,360987	65,153587			
	21.	5981,472	6686,318857	428,528	63,681143			

Tabulka 19: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm

	Všechny anchory v úrovni 1800, jeden v úrovni 0							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
13.	1.	916,9141324	158,039356	553,08587	841,96064	356,8146	301,3332	329,0739
	3.	1499,662664	2889,16048	89,662664	110,83952			
	5.	1384,268889	4781,157778	34,268889	218,84222			
	7.	1637,683688	6338,619858	312,31631	161,38014			
	8.	3163,210256	7043,934615	536,78974	343,93462			
	9.	2884,891892	6222,604134	815,10811	522,60413			
	13.	3228,461538	1237,946154	471,53846	37,946154			
	15.	6258,967431	1300,822678	258,96743	300,82268			
	18.	4841,520278	3972,164542	158,47972	112,16454			
	21.	6072,071338	6387,163057	337,92866	362,83694			

Tabulka 20: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm

	Všechny anchory v úrovni 900, jeden v úrovni 0							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
14.	1.	1655,23301	630,5102481	185,23301	369,48975	472,1417	381,5321	426,8369
	3.	1059,067073	2311,019512	350,93293	688,98049			
	5.	775,2727273	4847,316456	574,72727	152,68354			
	7.	1645,414054	5763,442162	304,58595	736,55784			
	8.	3425,849817	6639,141636	274,15018	60,858364			
	9.	2887,243208	5418,040103	812,75679	281,9599			
	13.	2867,165798	730,6861314	832,8342	469,31387			
	15.	5703,028141	1395,531658	296,97186	395,53166			
	18.	4130,311611	3729,085308	869,68839	130,91469			
	21.	6629,536341	6220,968672	219,53634	529,03133			

Tabulka 21: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm

	Všechny anchory v úrovni 1800, jeden v úrovni 900							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
15.	1.	1645,016194	1122,935223	175,01619	122,93522	151,3347	211,6675	181,5011
	3.	1369,750478	2703,451243	40,249522	296,54876			
	5.	1326,613998	5004,344645	23,386002	4,3446448			
	7.	1936,580247	5916,20202	13,419753	583,79798			
	8.	3332,020713	6803,375144	367,97929	103,37514			
	9.	3355,822479	5711,054622	344,17752	11,054622			
	13.	3747,677802	620,6034483	47,677802	579,39655			
	15.	6429,516097	831,7585513	429,5161	168,24145			
	18.	4961,578442	3773,51334	38,421558	86,48666			
	21.	6443,503078	6910,494283	33,503078	160,49428			

Tabulka 22: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm

	Všechny anchory v úrovni 900, jeden v úrovni 1800							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
16.	1.	1506,457303	926,8078652	36,457303	73,192135	195,9904	247,9367	221,9636
	3.	1555,586729	2940,165308	145,58673	59,834692			
	5.	1472,443616	5076,585275	122,44362	76,585275			
	7.	1976,508564	5904,274045	26,508564	595,72596			
	8.	3770,367137	6640,157895	70,367137	59,842105			
	9.	3858,90625	5948,778017	158,90625	248,77802			
	13.	3345,515475	868,4653148	354,48453	331,53469			
	15.	6551,083696	1184,881522	551,0837	184,88152			
	18.	5149,80268	4294,607795	149,80268	434,6078			
	21.	6754,263736	7164,384615	344,26374	414,38462			

Tabulka 23: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm

	Všechny anchory v úrovni 0, jeden v úrovni 900							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
17.	1.	1104,44629	113,6511628	365,55371	886,34884	335,2484	343,9475	339,598
	3.	1218,791515	2442,512727	191,20848	557,48727			
	5.	1113,397997	4450,479349	236,602	549,52065			
	7.	2285,157635	6287,644089	335,15764	212,35591			
	8.	3493,924129	6714,152985	206,07587	14,152985			
	9.	2950,835657	6234,858566	749,16434	534,85857			
	13.	3404,27451	920,8028896	295,72549	279,19711			
	15.	5606,39173	1322,509249	393,60827	322,50925			
	18.	4619,452412	3871,410691	380,54759	11,410691			
	21.	6608,840629	6678,365881	198,84063	71,634119			

Tabulka 24: Záznam měření č.2, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm

	Všechny anchory v úrovni 0, jeden v úrovni 1800							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
18.	1.	600,8794702	568,597351	869,12053	431,40265	490,9959	373,4114	432,2036
	3.	962,5951705	2518,84233	447,40483	481,15767			
	5.	1006,806962	4673,254219	343,19304	326,74578			
	7.	1694,581498	5391,067548	255,4185	1108,9325			
	8.	3349,843709	6904,218543	350,15629	204,21854			
	9.	2738,116248	6187,029062	961,88375	487,02906			
	13.	3365,535098	973,698504	334,4649	226,3015			
	15.	5480,51875	1272,117188	519,48125	272,11719			
	18.	4174,474576	4012,616333	825,52542	152,61633			
	21.	6413,310642	6706,407478	3,3106424	43,592522			

### c. Testování rozložení anchorů č. 3 (Obrázek 12)

Tabulka 25: Záznamu měření č.3, anchory ve výšce 0 mm

19.	Všechny anchory v úrovni 0							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
	1.	2224,435802	71,46790123	754,4358	928,5321	1465,617	1086,454	1276,036
	3.	1852,435356	882,9841689	442,43536	2117,0158			
	5.	3162,959416	4213,217532	1812,9594	786,78247			
	7.	6504,642748	3062,438168	4554,6427	3437,5618			
	8.	6047,283871	5988,807742	2347,2839	711,19226			
	9.	5904,760962	5857,168317	2204,761	157,16832			
	13.	2479,270804	289,7376587	1220,7292	910,26234			
	15.	5317,002751	1009,727648	682,99725	9,7276479			
	18.	4928,921694	4188,720154	71,078306	328,72015			
	21.	5845,148211	8227,579216	564,85179	1477,5792			

Tabulka 26: Záznam měření č.3, anchory ve výšce 900 mm

20.	Všechny anchory v úrovni 900							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
	1.	928,4561404	1208,25903	541,54386	208,25903	295,0369	193,4118	244,2243
	3.	1256,203144	2878,822249	153,79686	121,17775			
	5.	1228,61409	4915,936909	121,38591	84,063091			
	7.	1935,408397	6274,736641	14,591603	225,26336			
	8.	3566,75381	6453,73388	133,24619	246,26612			
	9.	3254,395238	5780,663095	445,60476	80,663095			
	13.	3290,390339	890,3550914	409,60966	309,64491			
	15.	6197,157246	1012,393628	197,15725	12,393628			
	18.	4102,497709	3870,202566	897,50229	10,202566			
	21.	6374,069873	7386,184211	35,930127	636,18421			

Tabulka 27: Záznam měření č.3, anchory ve výšce 1800 mm

	Všechny anchory v úrovni 1800							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
21.	1.	1394,447773	861,4194332	75,552227	138,58057	210,0715	288,4259	249,2487
	3.	1283,832979	2669,819149	126,16702	330,18085			
	5.	1301,656548	4597,40503	48,343452	402,59497			
	7.	1944,202976	6158,182784	5,7970244	341,81722			
	8.	3361,350877	6278,415655	338,64912	421,58435			
	9.	3352,552026	5721,817087	347,44797	21,817087			
	13.	3194,680958	1499,651955	505,31904	299,65195			
	15.	6259,862887	1163,47732	259,86289	163,47732			
	18.	5054,548043	3478,132859	54,548043	381,86714			
	21.	6070,9721	6367,312775	339,0279	382,68722			

Tabulka 28: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm

	Všechny anchory v úrovni 1800, jeden v úrovni 0							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
22.	1.	1797,064516	620,648283	327,06452	379,35172	1000,853	558,5183	779,6854
	3.	2253,48125	2556,396875	843,48125	443,60313			
	5.	2569,062139	3752,296243	1219,0621	1247,7038			
	7.	5242,860269	4476,698653	3292,8603	2023,3013			
	8.	5606,478947	6440,482456	1906,4789	259,51754			
	9.	2884,891892	6222,604134	815,10811	522,60413			
	13.	3727,983333	992,1287879	27,983333	207,87121			
	15.	5554,450867	1020,981214	445,54913	20,981214			
	18.	4697,888563	3504,021994	302,11144	355,97801			
	21.	5581,173977	6874,270468	828,82602	124,27047			

Tabulka 29: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 0 mm

	Všechny anchory v úrovni 900, jeden v úrovni 0							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
23.	1.	2173,036649	418,9518325	703,03665	581,04817	915,3872	817,705	866,5461
	3.	1988,694477	1533,396005	578,69448	1466,604			
	5.	2249,786269	3159,112694	899,78627	1840,8873			
	7.	4264,293447	4799,897436	2314,2934	1700,1026			
	8.	6065,14619	6216,491446	2365,1462	483,50855			
	9.	2887,243208	5418,040103	812,75679	281,9599			
	13.	3521,971168	234,5432473	178,02883	965,45675			
	15.	5866,189369	1102,342193	133,81063	102,34219			
	18.	4882,516438	3773,383562	117,48356	86,616438			
	21.	5359,164885	7418,523664	1050,8351	668,52366			



Tabulka 30: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 1800 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm

	Všechny anchory v úrovni 1800, jeden v úrovni 900							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
24.	1.	1516,06924	1104,107832	46,06924	104,10783	158,9822	182,9838	170,983
	3.	1373,734954	2550,771991	36,265046	449,22801			
	5.	1254,421955	4883,462264	95,578045	116,53774			
	7.	1908,328042	6139,866402	41,671958	360,1336			
	8.	3660,022705	6419,25074	39,977295	280,74926			
	9.	3303,932462	5588,019608	396,06754	111,98039			
	13.	3375,319527	1264,017751	324,68047	64,017751			
	15.	6144,04729	1023,025375	144,04729	23,025375			
	18.	5332,850333	4147,996674	332,85033	287,99667			
	21.	6277,385159	6782,061249	132,61484	32,061249			

Tabulka 31: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 900 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm

	Všechny anchory v úrovni 900, jeden v úrovni 1800							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
25.	1.	1428,686801	1201,322148	41,313199	201,32215	195,7084	339,5232	267,6158
	3.	1536,389404	1626,430464	126,3894	1373,5695			
	5.	1403,279592	5038,794898	53,279592	38,794898			
	7.	1813,921739	6177,256522	136,07826	322,74348			
	8.	3432,928879	6696,005388	267,07112	3,9946121			
	9.	2982,188679	5276,381132	717,81132	423,61887			
	13.	3552,198837	917,3802326	147,80116	282,61977			
	15.	6190,365333	1127,604444	190,36533	127,60444			
	18.	4744,966667	4255,625926	255,03333	395,62593			
	21.	6388,05919	6975,338525	21,94081	225,33853			

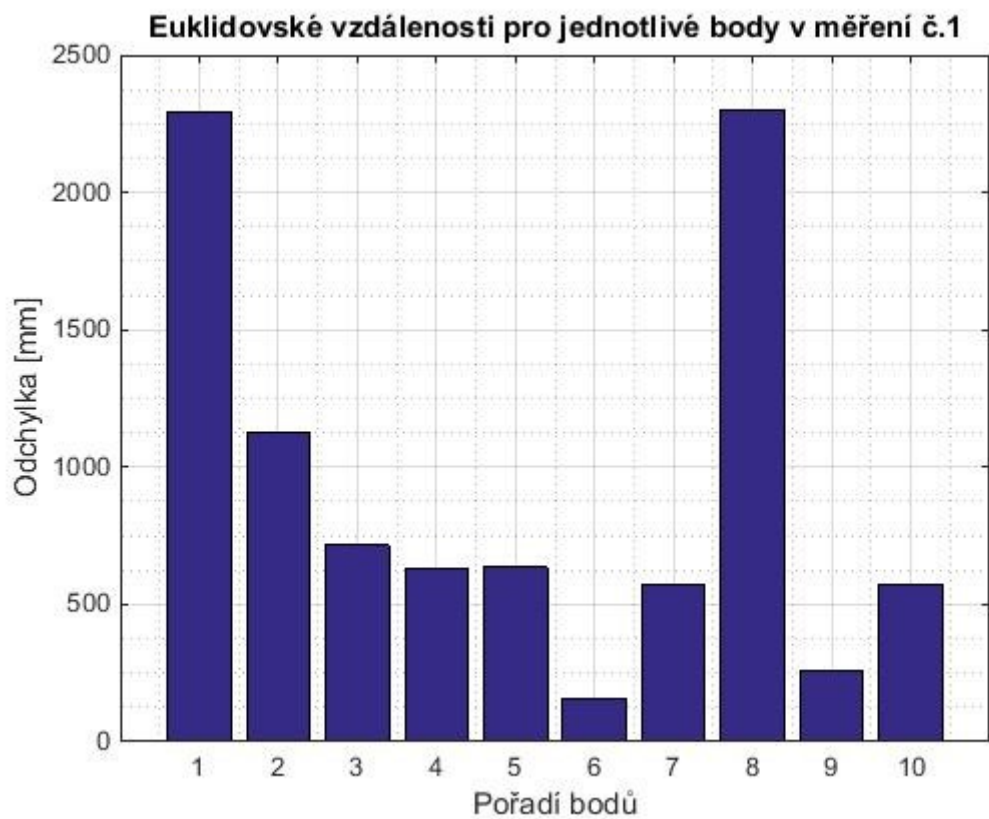
Tabulka 32: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 900 mm

	Všechny anchory v úrovni 0, jeden v úrovni 900							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
26.	1.	1809,140541	141,872973	339,14054	858,12703	961,3295	1087,113	1024,221
	3.	2304,004028	776,0634441	894,00403	2223,9366			
	5.	1963,232628	2798,007553	613,23263	2201,9924			
	7.	3585,823427	5059,122378	1635,8234	1440,8776			
	8.	5535,831481	5792,624074	1835,8315	907,37593			
	9.	5415,532775	6005,546722	1715,5328	305,54672			
	13.	2602,006515	510,4039088	1097,9935	689,59609			
	15.	5953,734955	1417,96799	46,265045	417,96799			
	18.	4773,547579	3342,196995	226,45242	517,80301			
	21.	5200,98057	8057,910622	1209,0194	1307,9106			

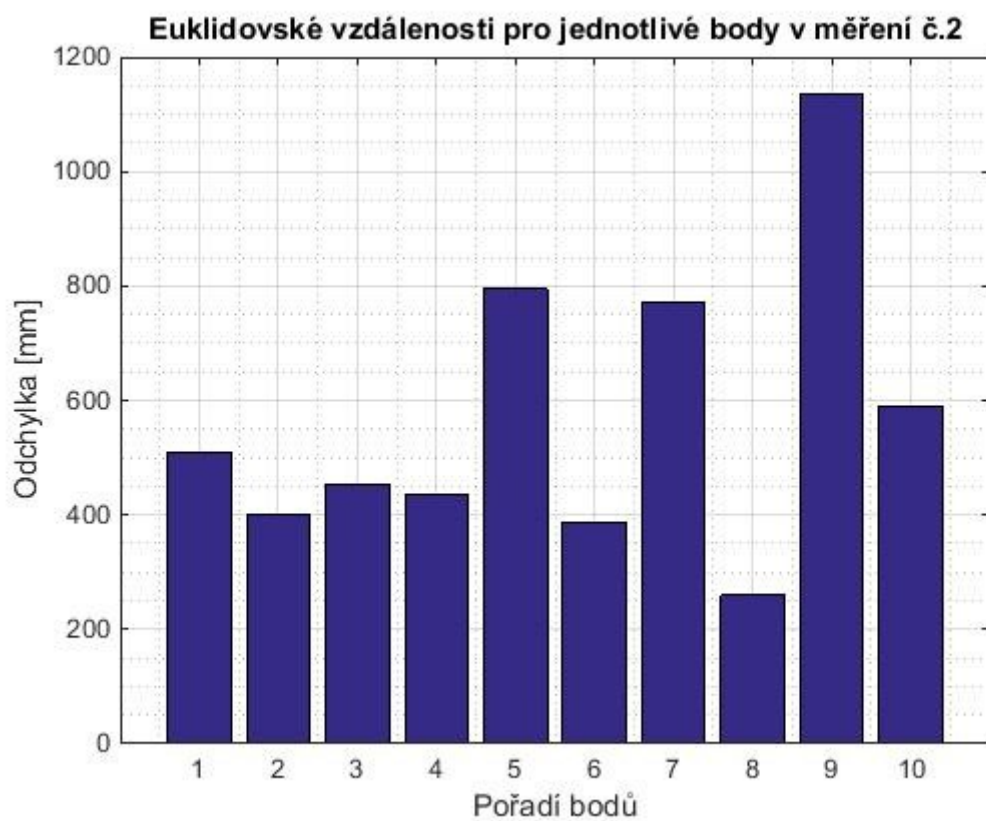
Tabulka 33: Záznam měření č.3, tři anchory ve výšce 0 mm, jeden anchor ve výšce 1800 mm

Všechny anchory v úrovni 0, jeden v úrovni 1800								
	x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]	
27.	1.	1832,754635	1206,55289	362,75463	206,55289	1161,549	835,8119	998,6806
	3.	2145,617857	2683,0625	735,61786	316,9375			
	5.	2316,513344	3767,353218	966,51334	1232,6468			
	7.	5707,166939	3962,090016	3757,1669	2537,91			
	8.	5804,832551	5970,111111	2104,8326	729,88889			
	9.	2738,116248	6187,029062	961,88375	487,02906			
	13.	3238,253994	252,9600639	461,74601	947,03994			
	15.	6249,323362	1371,014245	249,32336	371,01425			
	18.	4089,121001	3170,759388	910,879	689,24061			
	21.	5305,22343	7589,858696	1104,7766	839,8587			

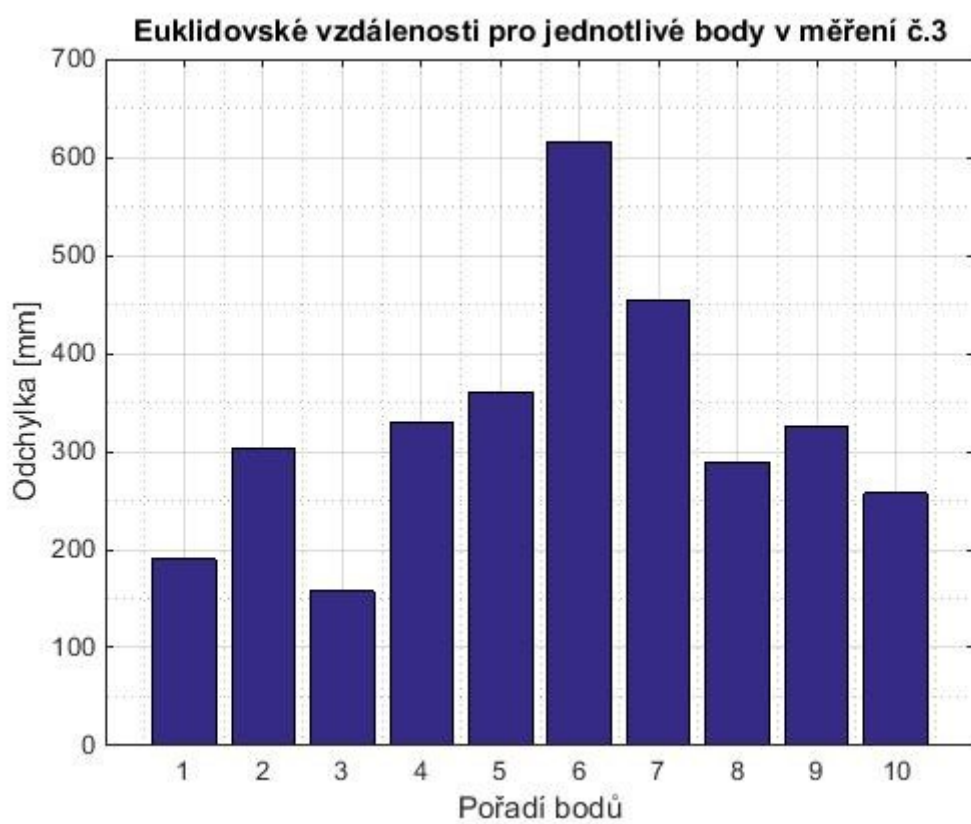
d. Zobrazení Euklidovských vzdáleností pro jednotlivá měření



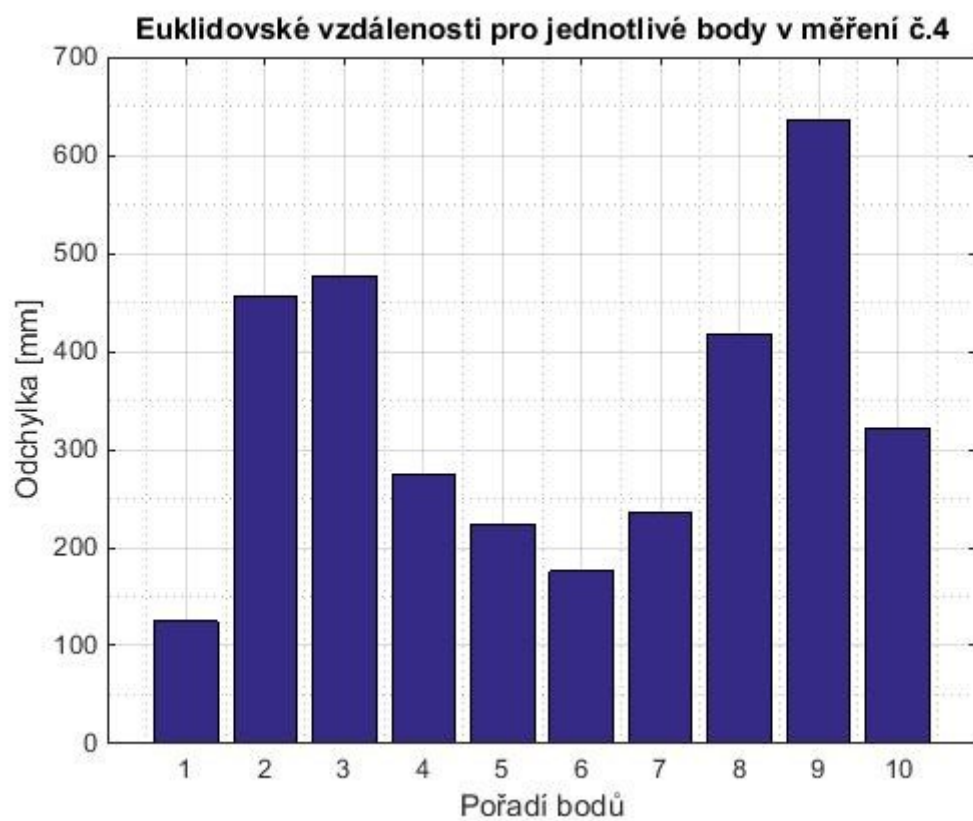
Obrázek 31: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 1



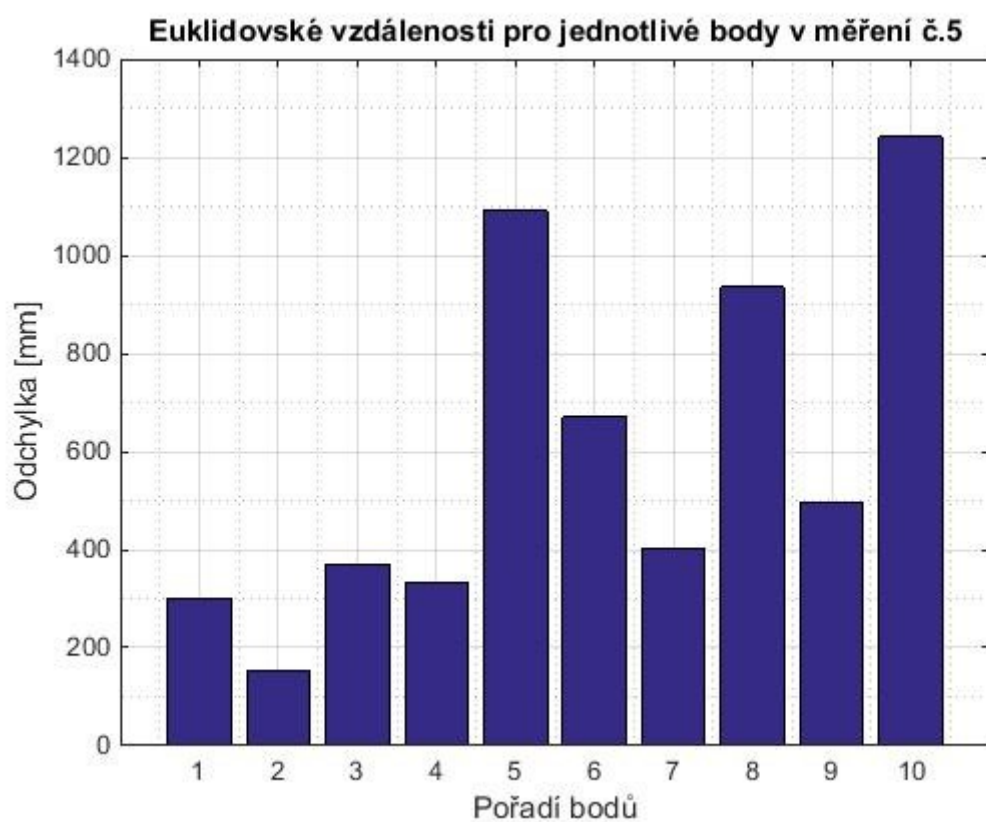
Obrázek 32: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 2



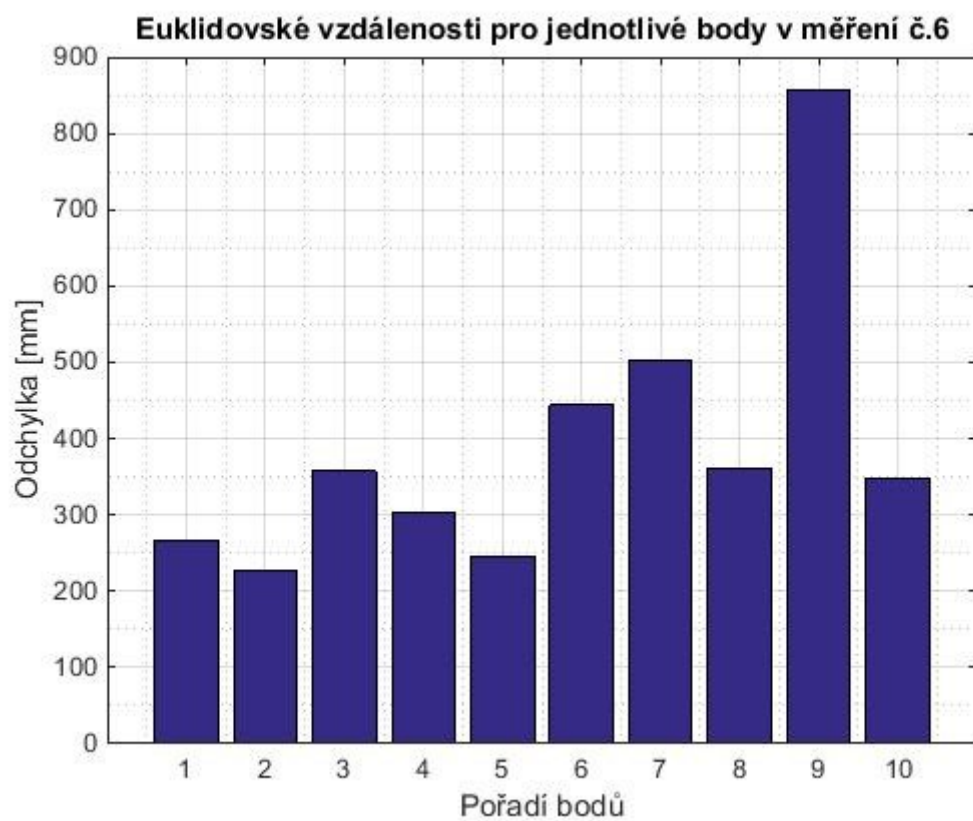
Obrázek 33: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 3



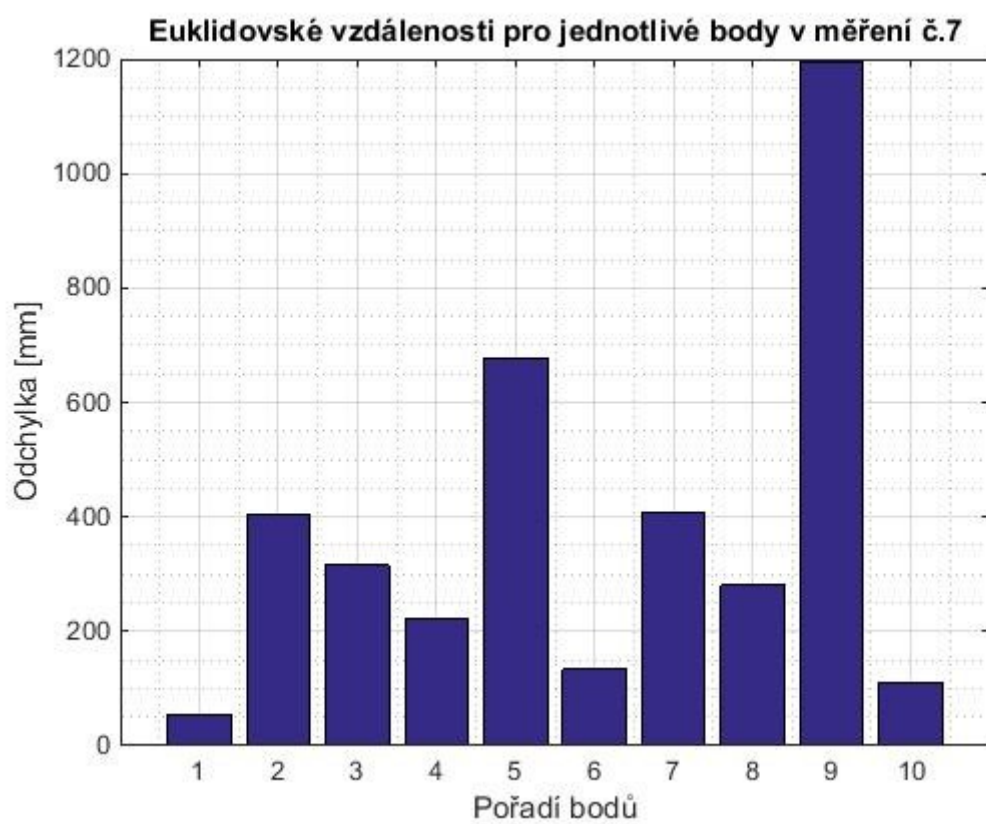
Obrázek 34: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 4



Obrázek 35: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 5

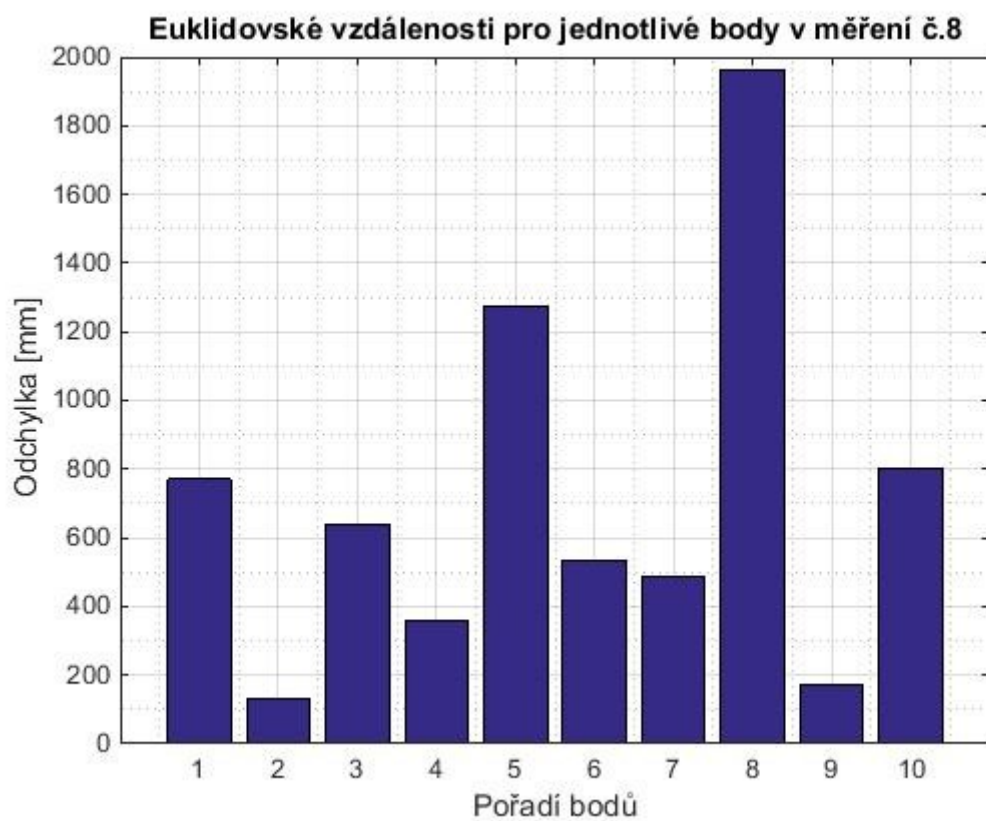


Obrázek 36: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 6

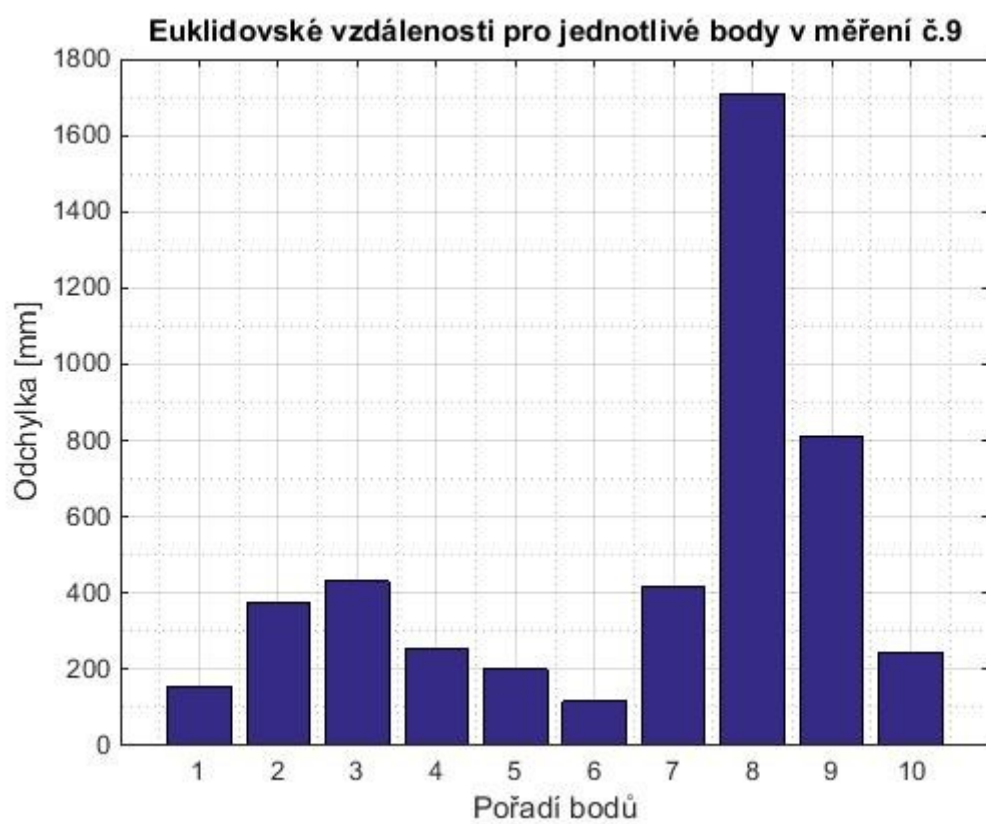


Obrázek 37: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 7

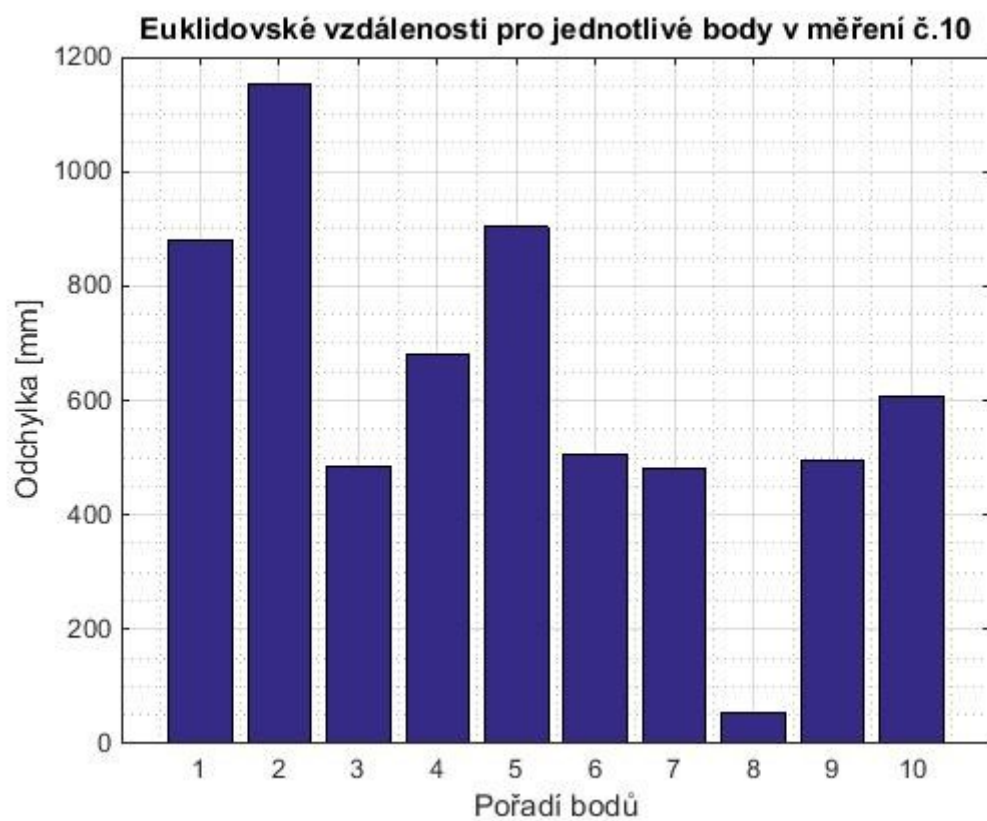




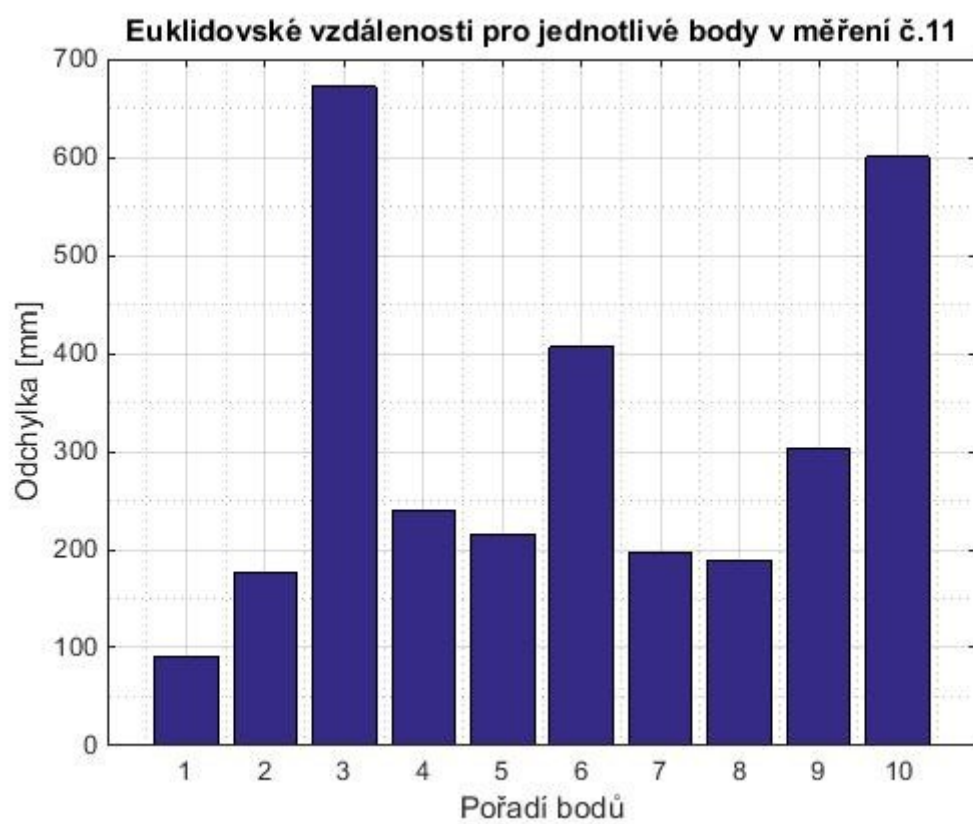
Obrázek 38: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 8



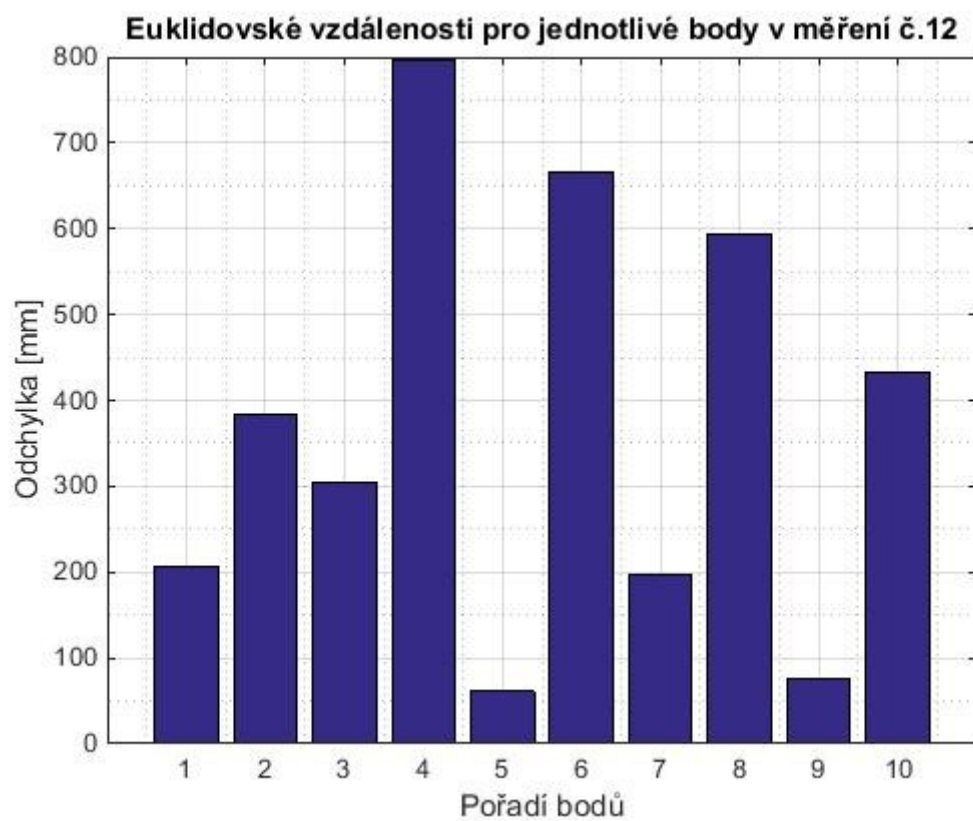
Obrázek 39: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 9



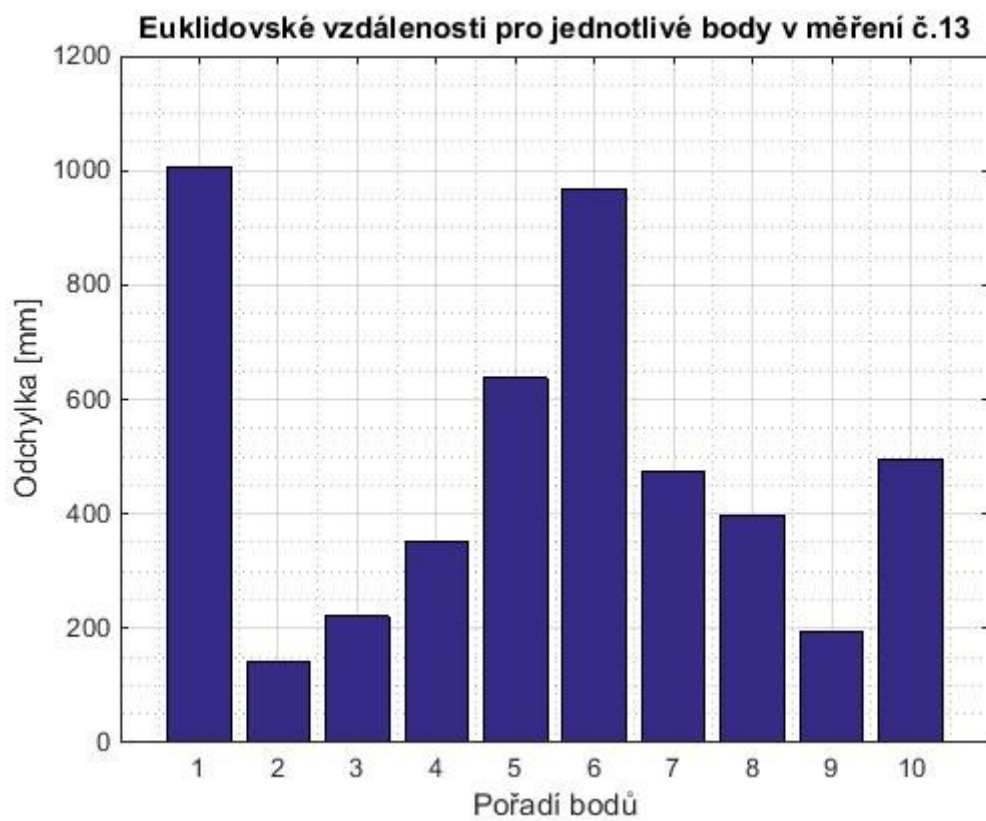
Obrázek 40: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 10



Obrázek 41: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 11

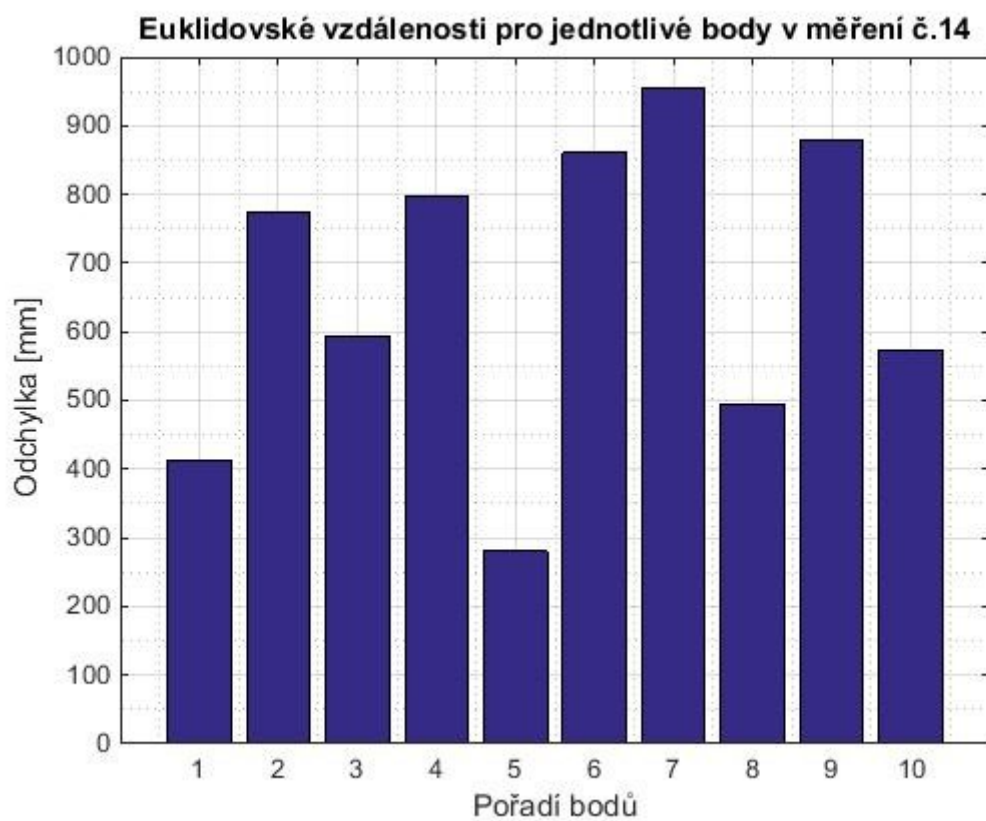


Obrázek 42: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 12

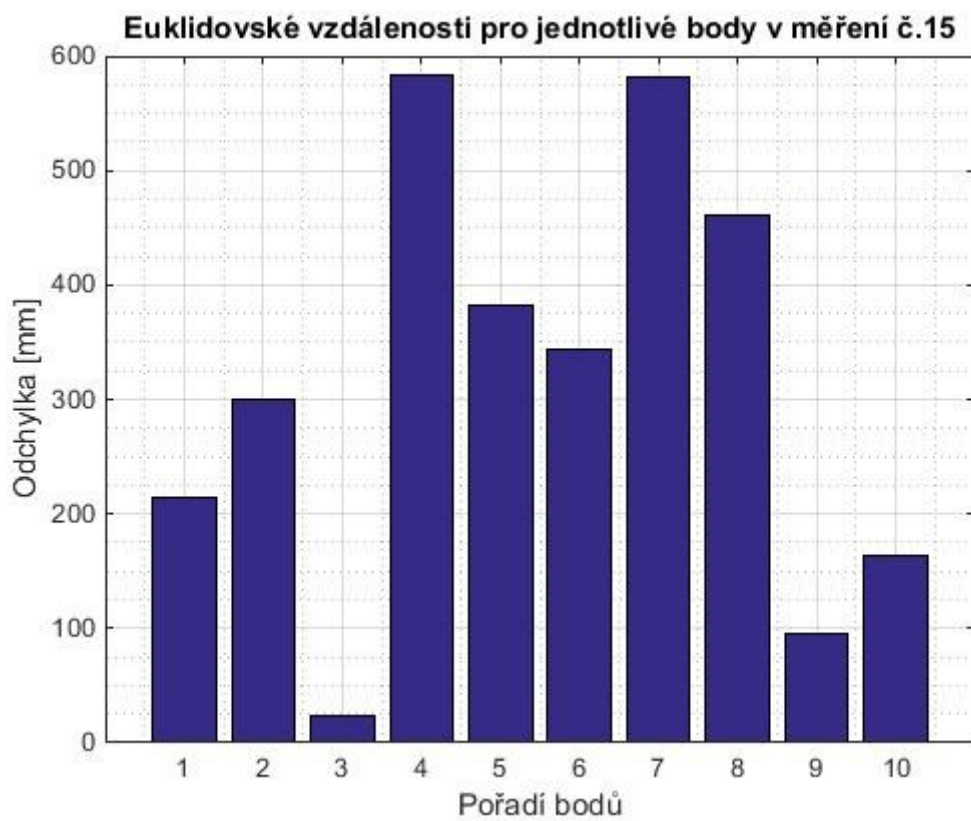


Obrázek 43: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 13

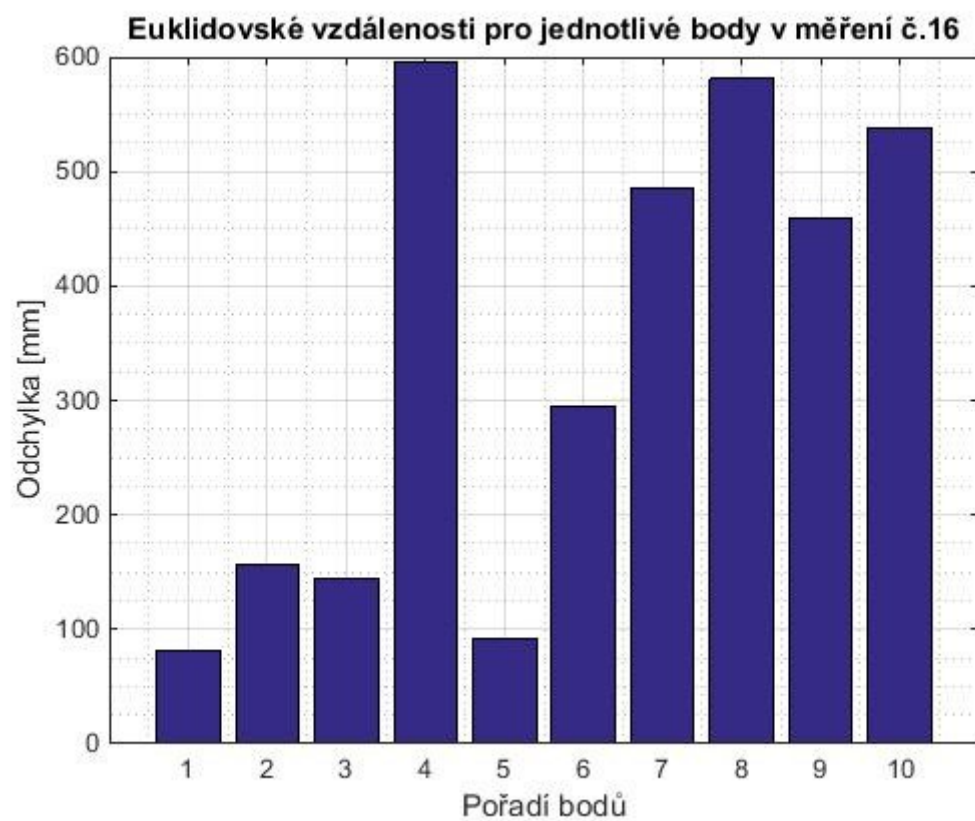




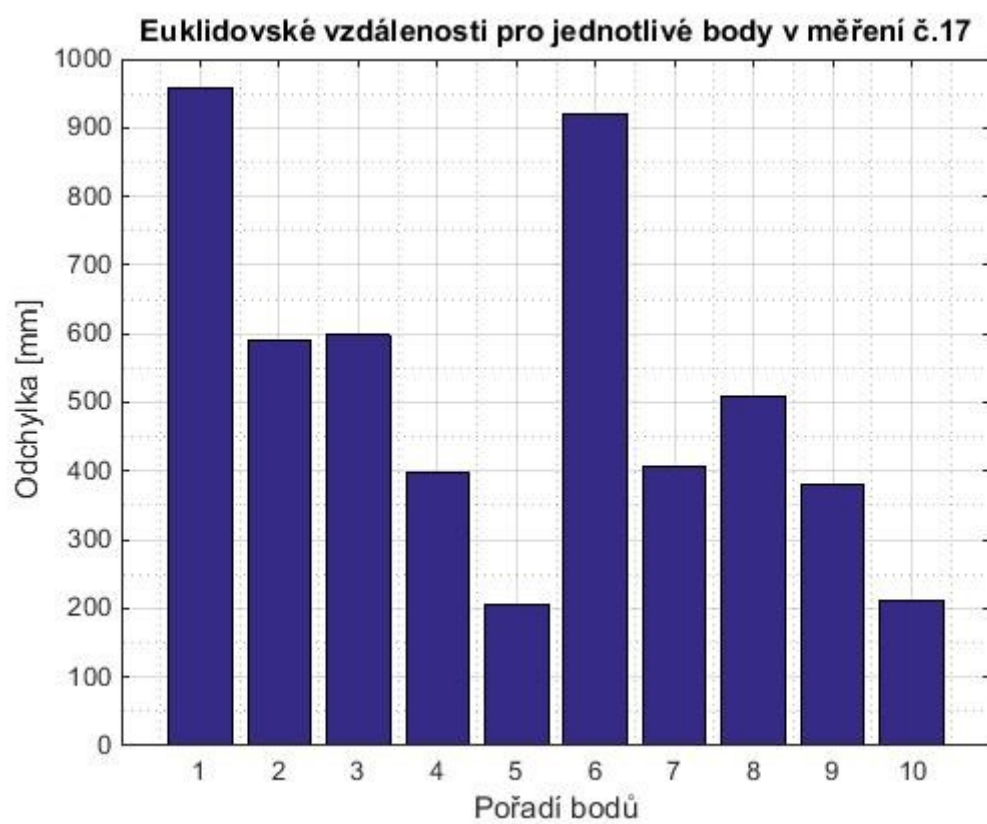
Obrázek 44: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 14



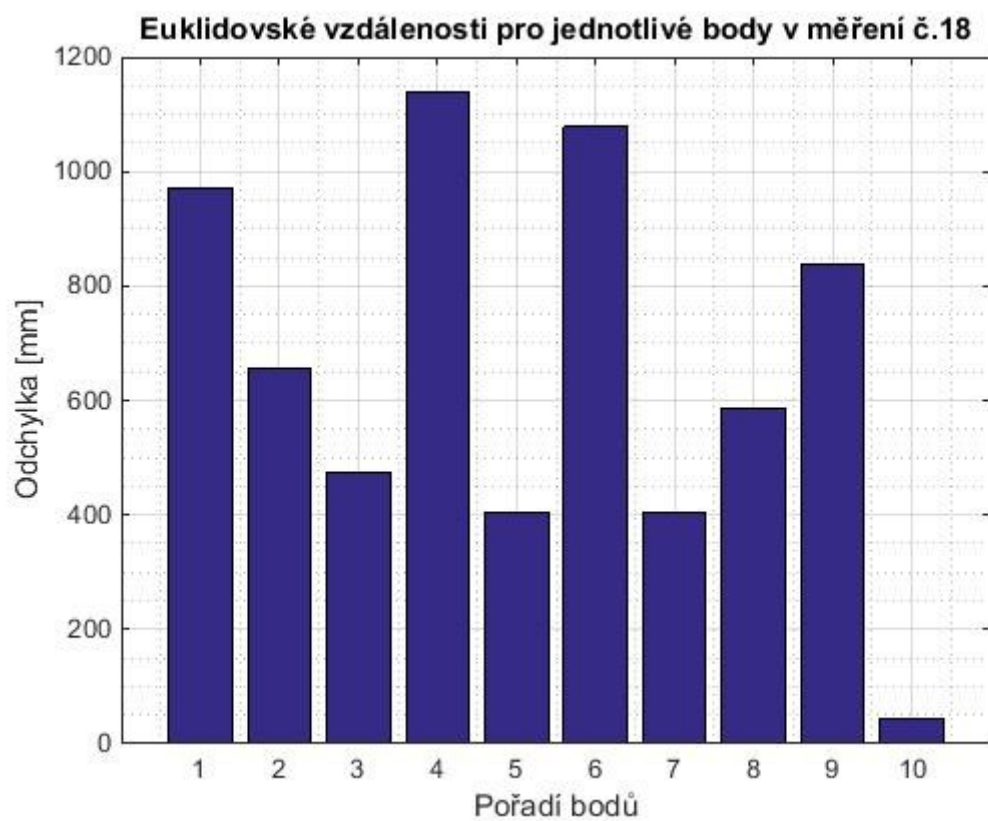
Obrázek 45: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 15



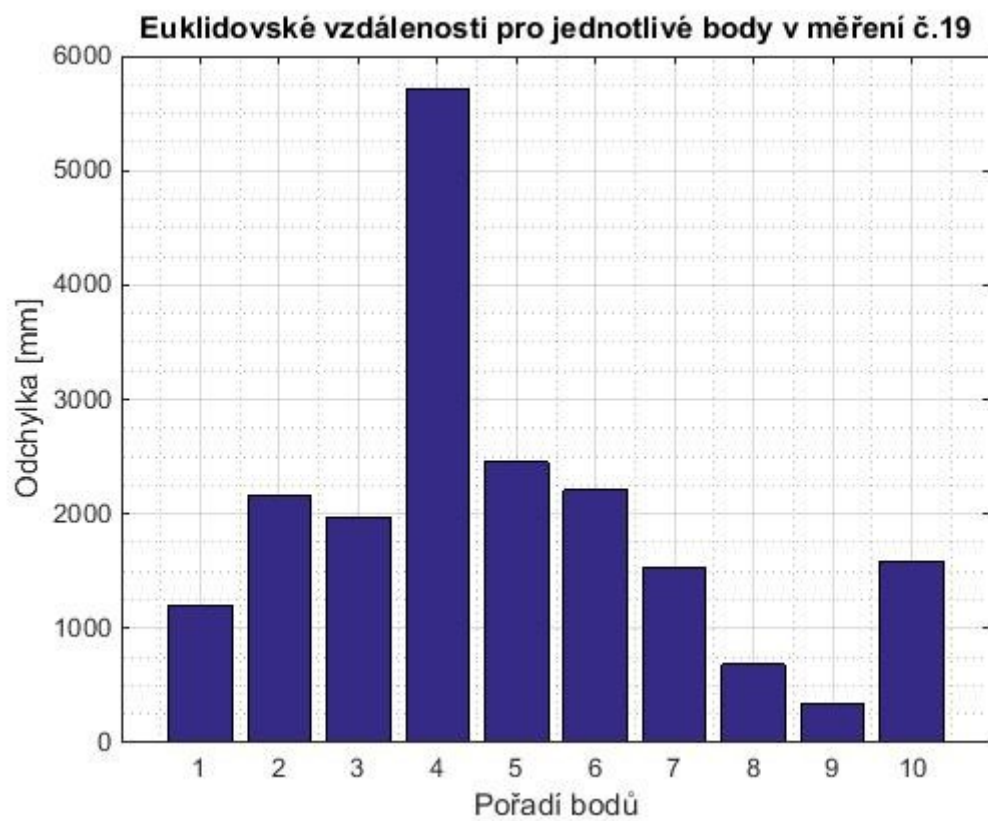
Obrázek 46: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 16



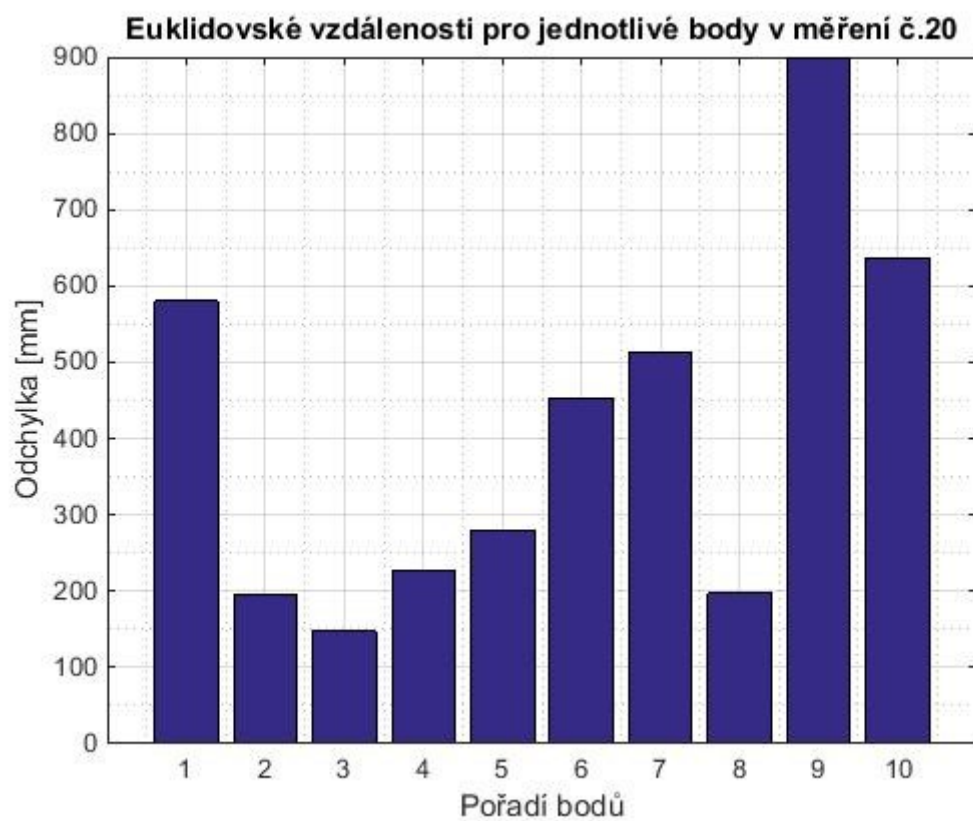
Obrázek 47: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 17



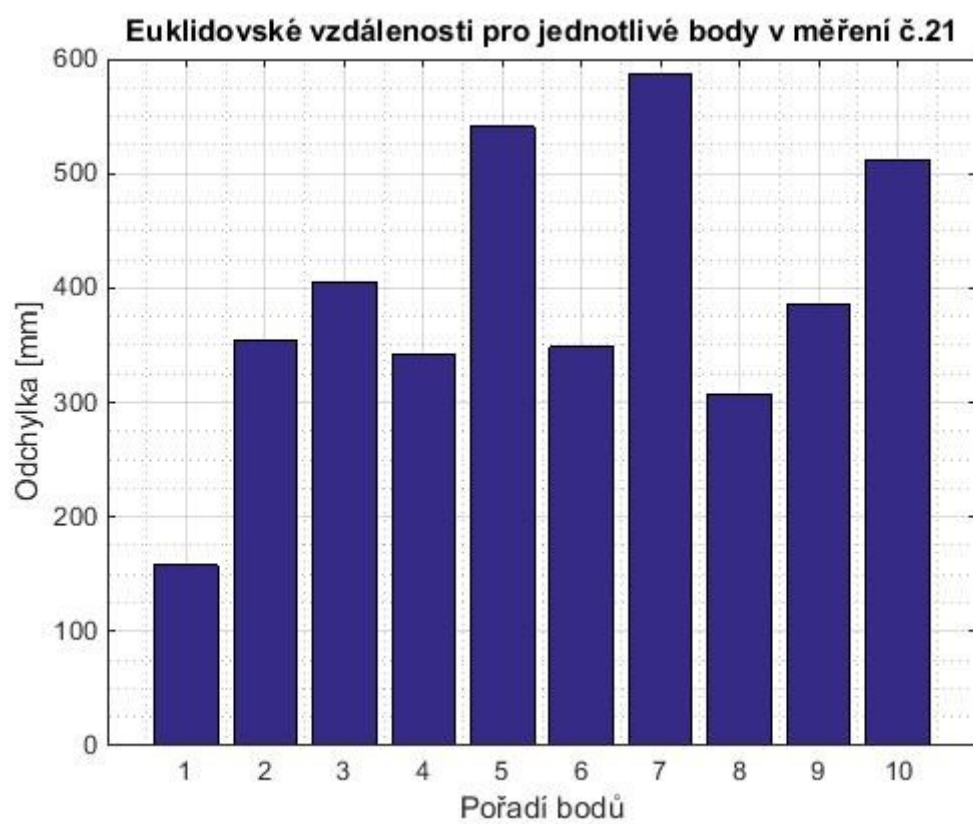
Obrázek 48: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 18



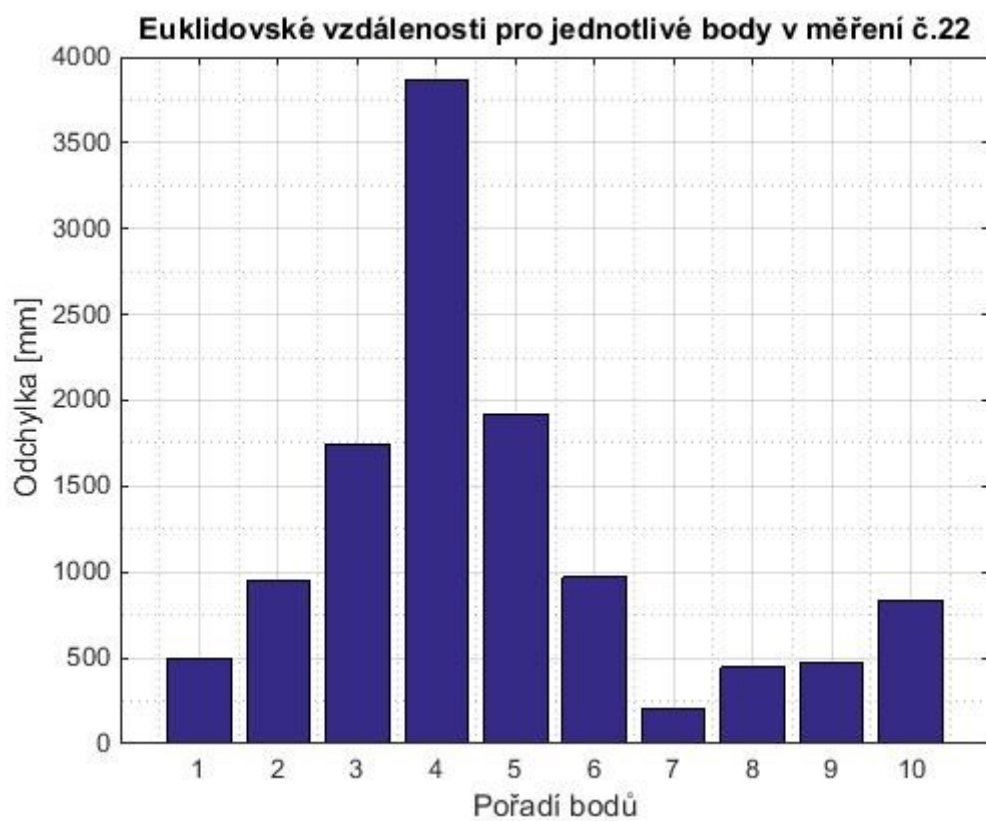
Obrázek 49: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 19



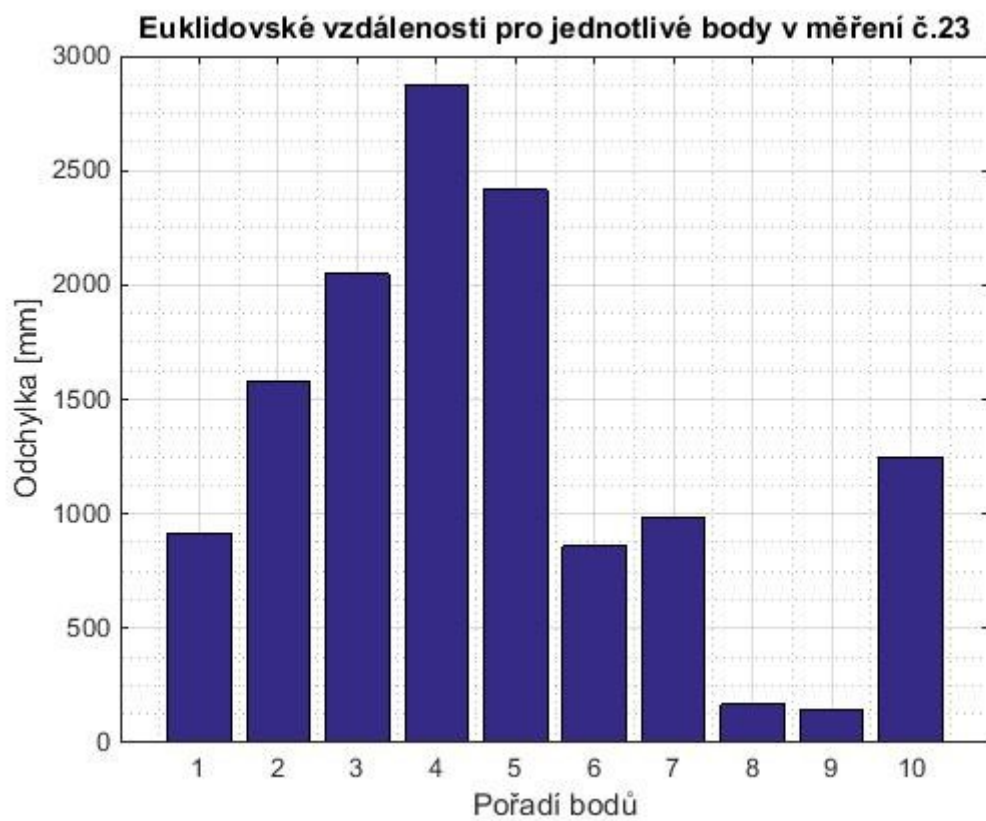
Obrázek 50: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 20



Obrázek 51: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 21

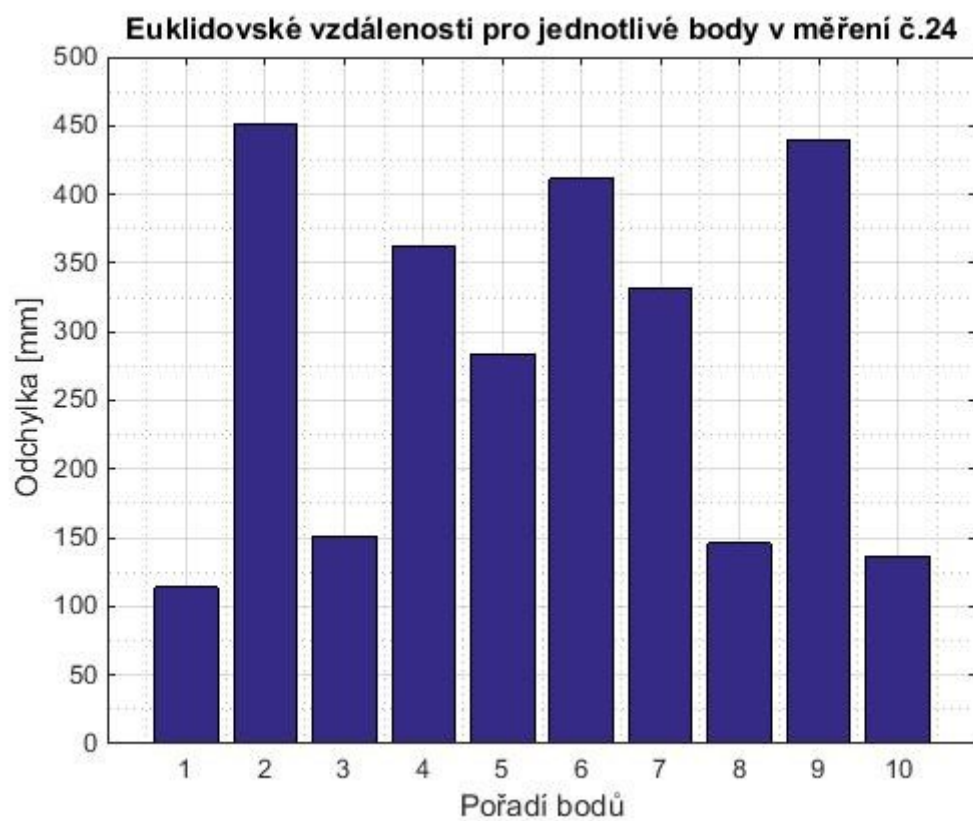


Obrázek 52: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 22

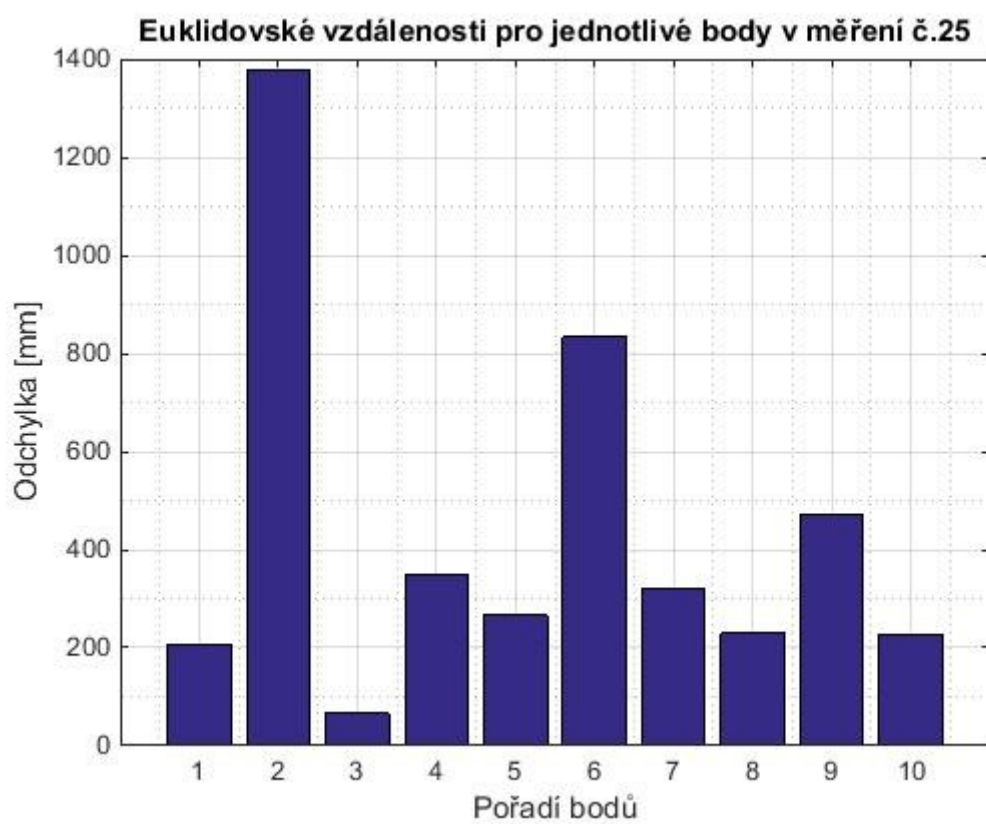


Obrázek 53: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 23

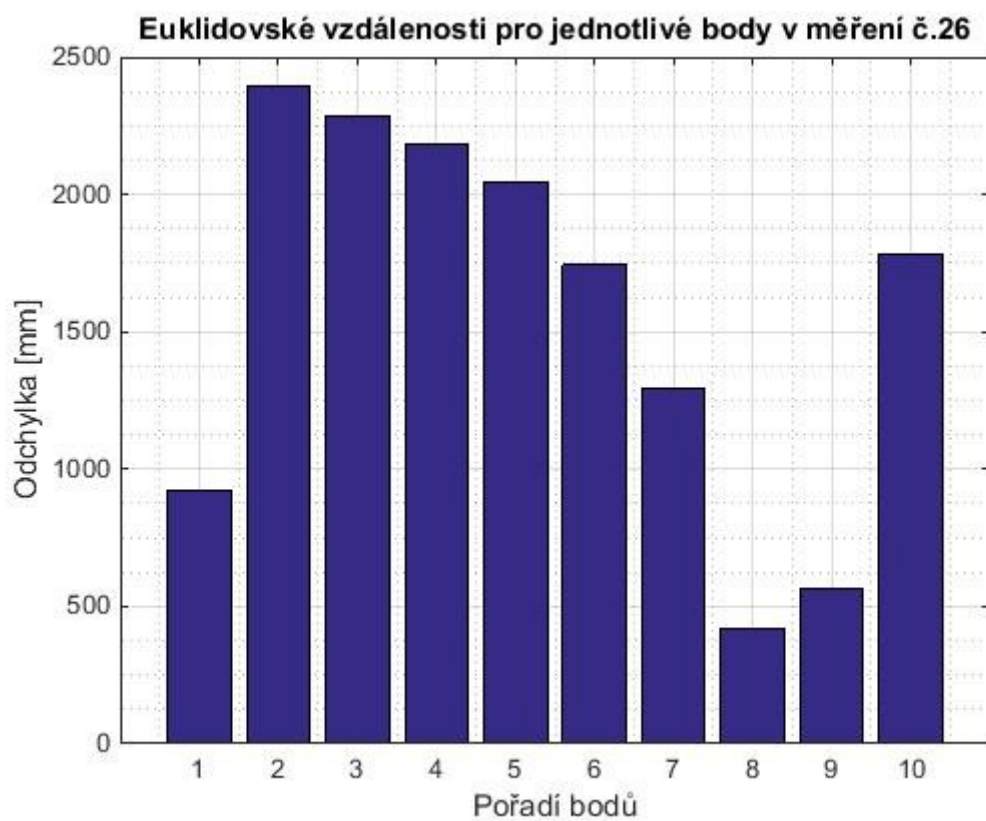




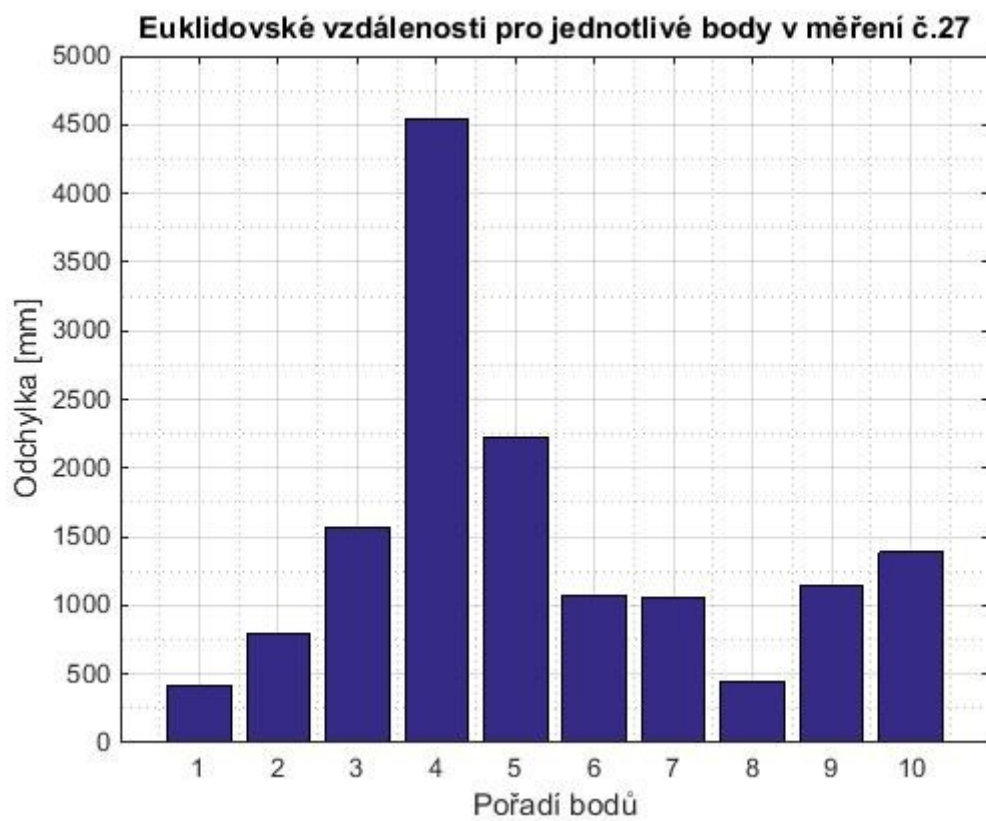
Obrázek 54: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 24



Obrázek 55: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 25



Obrázek 56: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 26



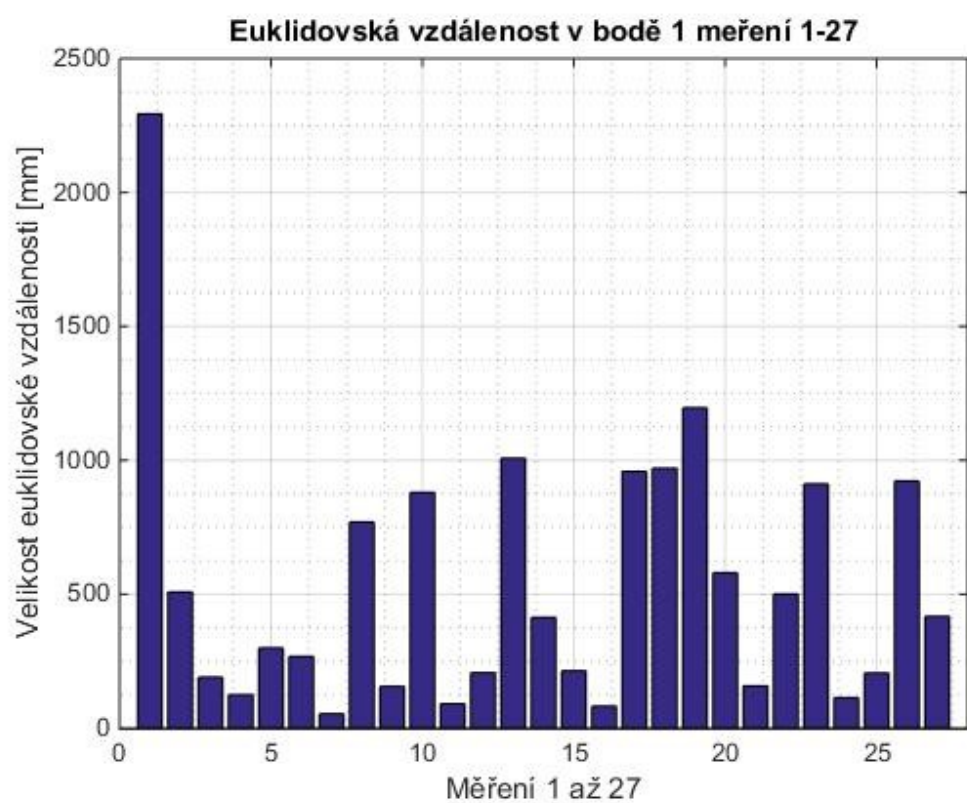
Obrázek 57: Euklidovské vzdálenosti pro měření č. 27

Tabulka 34: Průměr euklidovské vzdálenosti a směrodatná odchylka pro měření 1 až 27

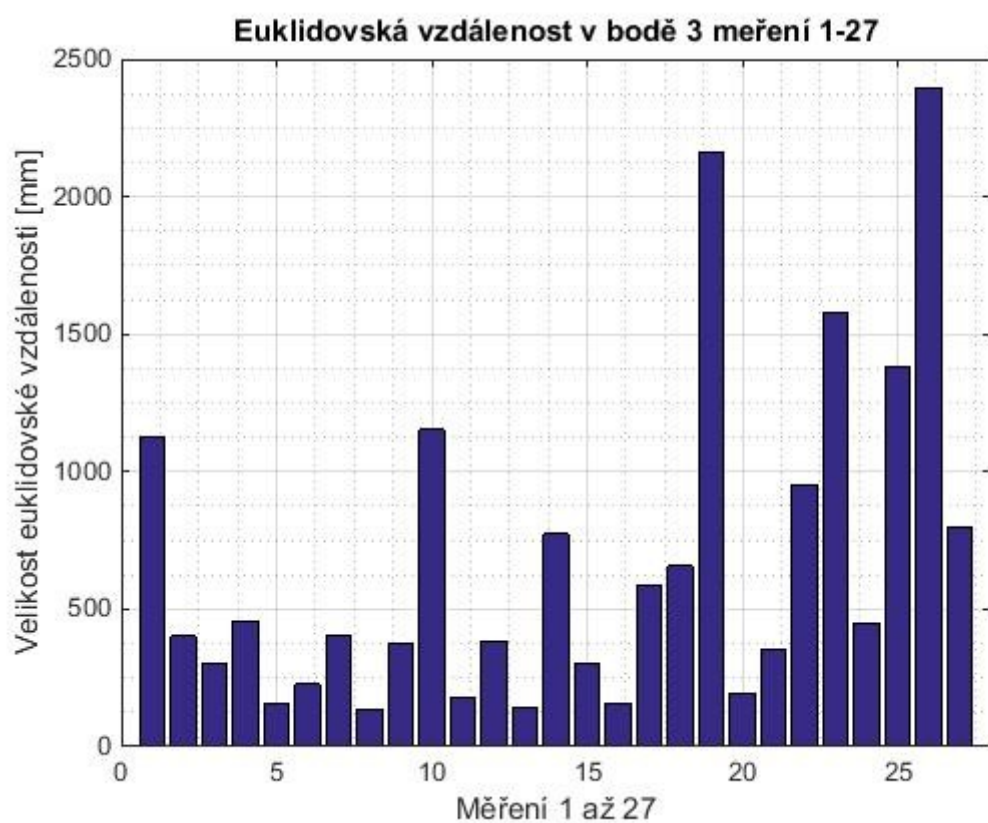
	avg x	±	σ x	avg y	±	σ y	avg euk	±	σ euk
1.	61,3735	±	67,26783	45,35404	±	66,49133	92,55458	±	76,80276
2.	37,48021	±	27,93945	33,65753	±	27,03993	57,39554	±	25,90453
3.	18,65991	±	10,73261	24,9358	±	13,29259	32,83625	±	13,10052
4.	21,84853	±	17,2165	20,48504	±	14,15437	33,41699	±	15,89475
5.	43,645	±	43,18468	23,52975	±	27,63816	59,9463	±	36,98172
6.	23,96582	±	13,80371	28,96116	±	16,76806	39,13339	±	18,4459
7.	18,85905	±	20,14293	28,28849	±	32,63512	38,03418	±	33,87908
8.	59,42292	±	46,064	35,04458	±	35,85747	71,34237	±	55,1398
9.	39,82839	±	48,69113	17,90043	±	16,6449	47,16627	±	47,90221
10.	50,24147	±	18,83571	31,17108	±	31,78749	62,48853	±	30,17967
11.	15,29744	±	9,850019	24,68409	±	19,86746	30,89461	±	19,18923
12.	24,83787	±	24,6745	16,53918	±	23,84327	37,19206	±	25,09568
13.	35,68146	±	24,0546	30,13332	±	23,91359	48,88755	±	30,30632
14.	47,21417	±	27,35492	38,15321	±	23,05302	66,22174	±	22,39261
15.	15,13347	±	16,57236	21,16675	±	21,18475	31,487	±	19,34239
16.	19,59904	±	16,81966	24,79367	±	19,0068	34,32542	±	21,09126
17.	33,52484	±	16,50037	34,39475	±	28,55743	51,77891	±	25,92443
18.	49,09959	±	30,52963	37,34114	±	29,6106	65,96165	±	34,67551
19.	146,5617	±	133,1985	108,6454	±	103,4216	198,2875	±	147,4235
20.	29,50369	±	27,71229	19,34118	±	18,55342	41,28028	±	24,52815
21.	21,00715	±	16,96046	28,84259	±	13,42669	39,39042	±	12,59318
22.	100,0853	±	96,64942	55,85183	±	61,44606	119,1617	±	109,2501
23.	91,53872	±	81,9046	81,7705	±	64,90706	132,2534	±	90,70074
24.	15,89822	±	13,92706	18,29838	±	14,94616	28,26357	±	13,51419
25.	19,57084	±	20,17168	33,95232	±	38,91665	43,46865	±	39,09414
26.	96,13295	±	64,62504	108,7113	±	69,3998	156,3905	±	72,2277
27.	116,1549	±	104,9463	83,58119	±	67,51618	146,5541	±	120,2525



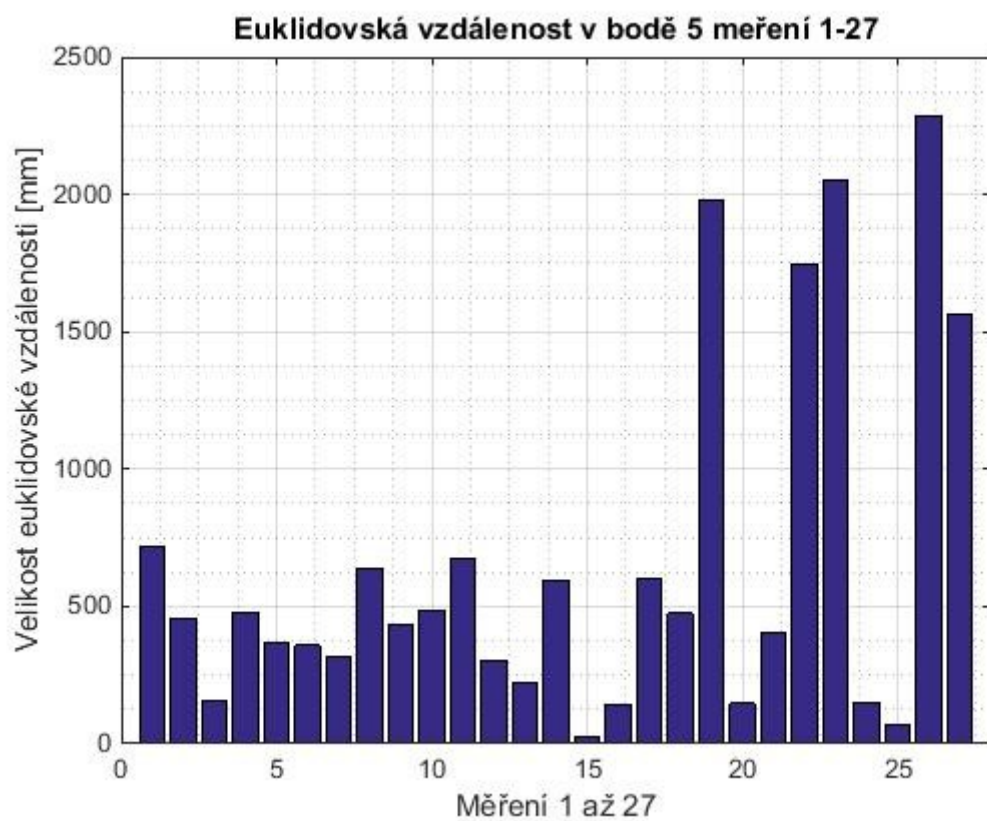
e. Zobrazení Euklidovských vzdáleností pro jednotlivé body



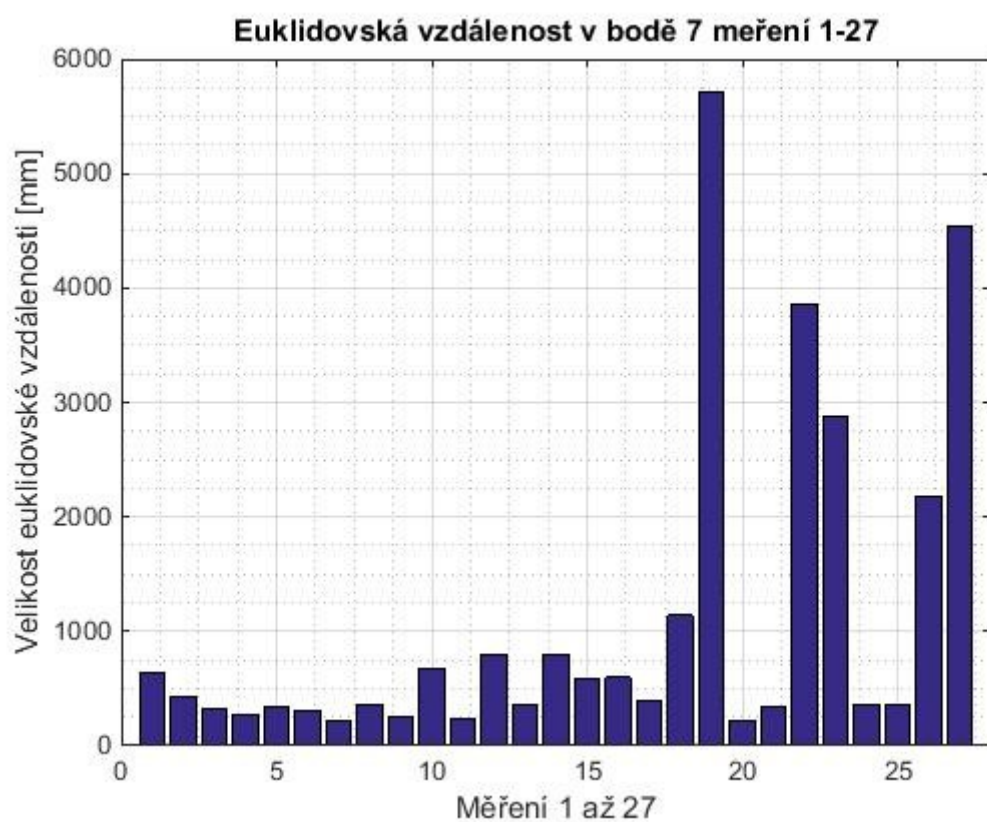
Obrázek 58: Euklidovské vzdálenosti pro bod 1



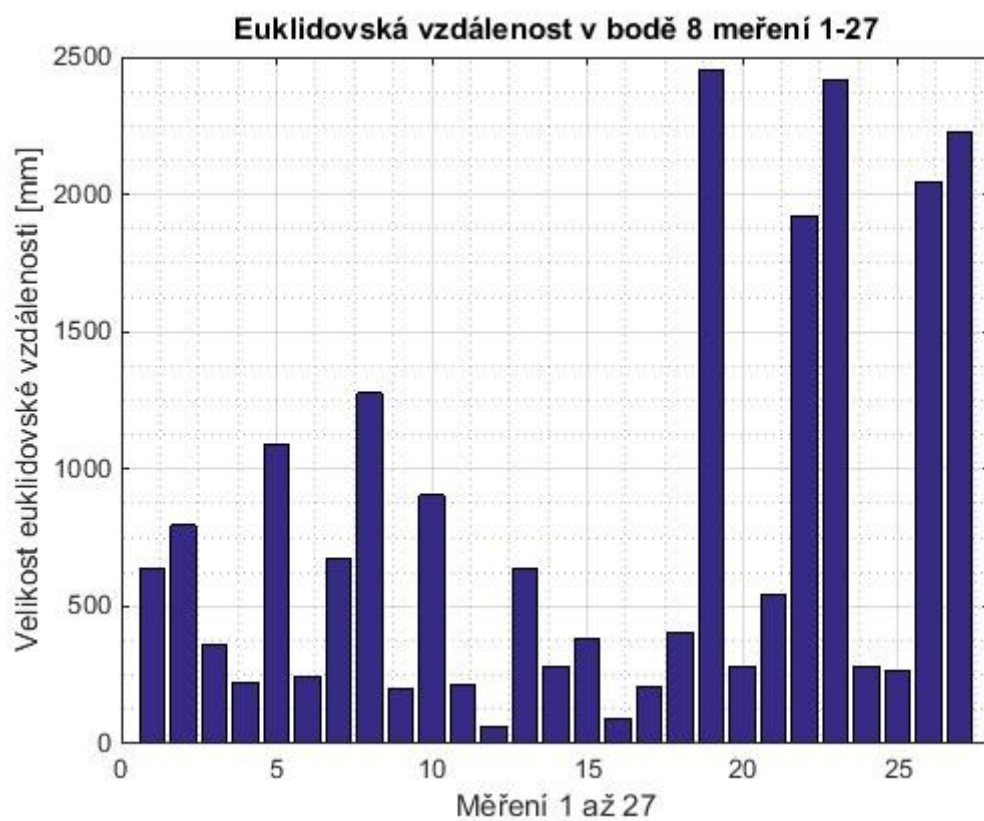
Obrázek 59: Euklidovské vzdálenosti pro bod 3



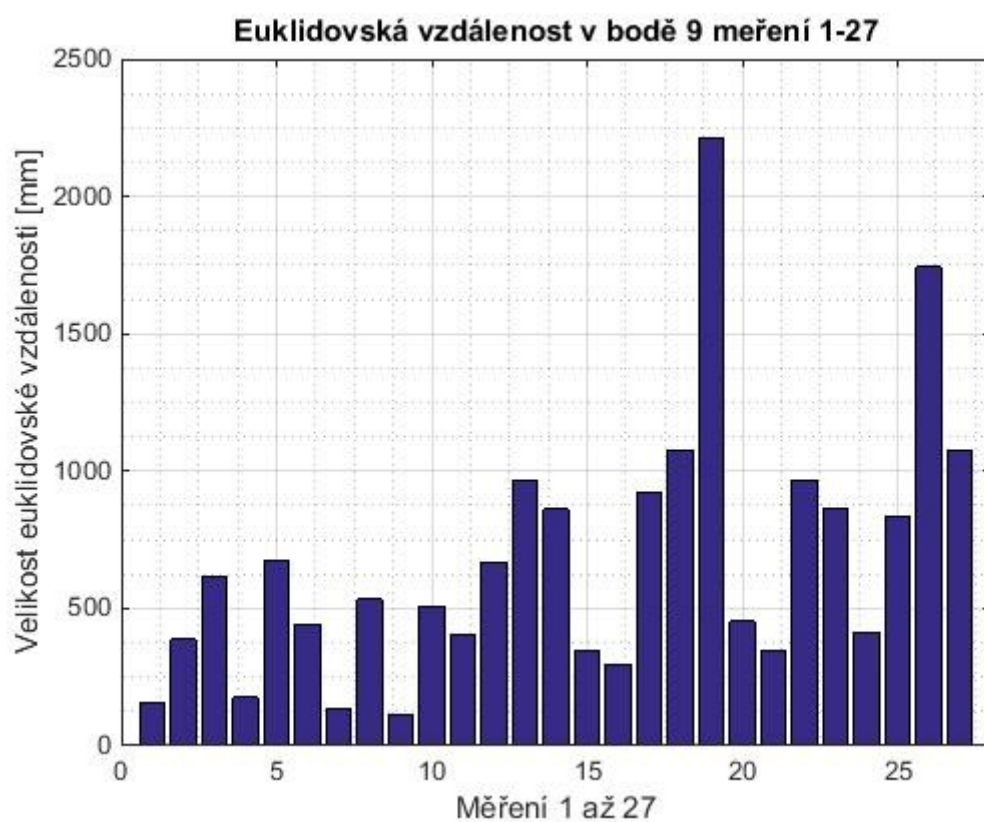
Obrázek 60: Euklidovské vzdálenosti pro bod 5



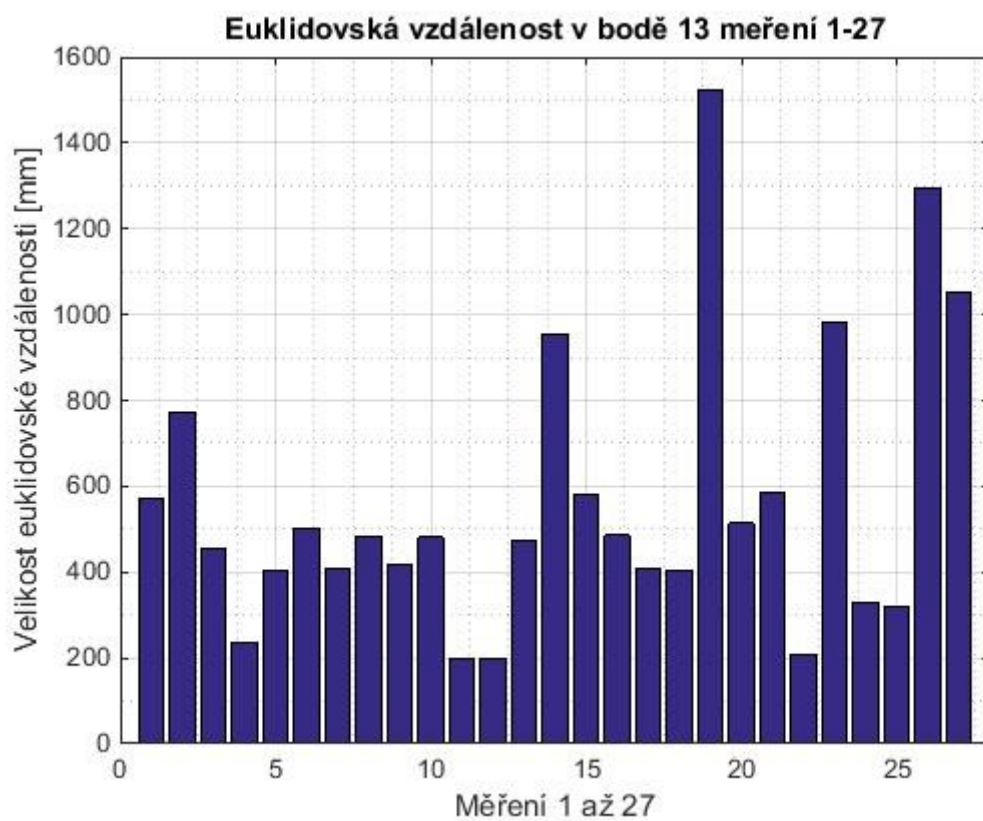
Obrázek 61: Euklidovské vzdálenosti pro bod 7



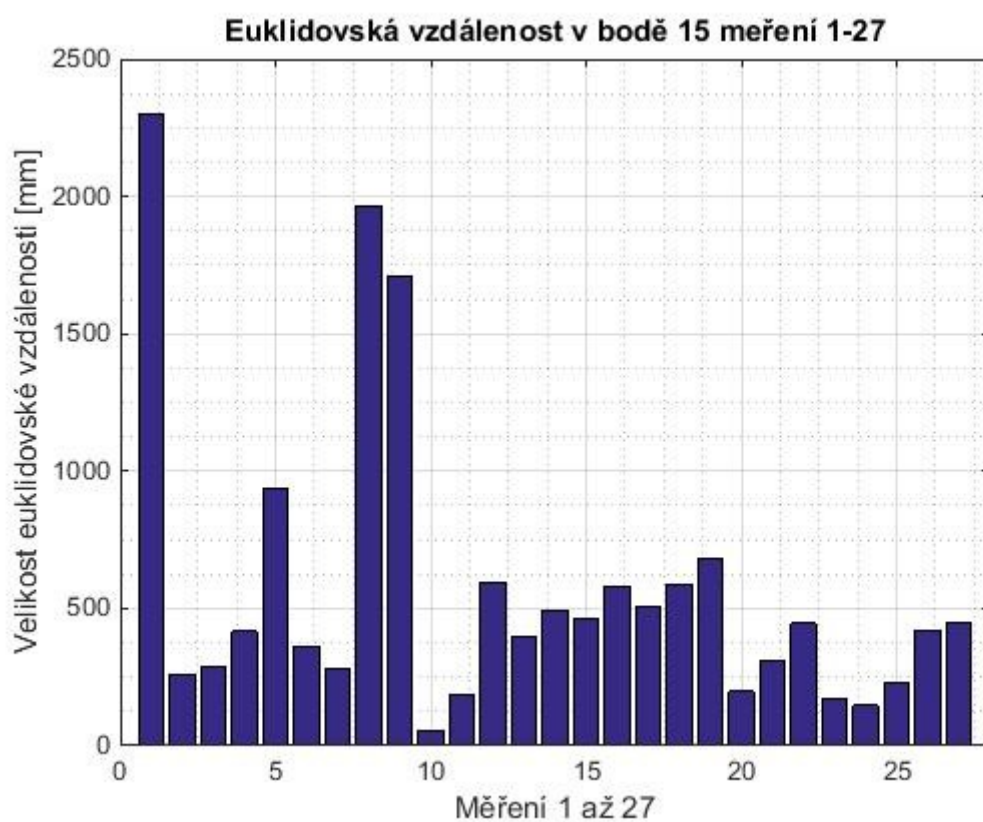
Obrázek 62: Euklidovské vzdálenosti pro bod 8



Obrázek 63: Euklidovské vzdálenosti pro bod 9

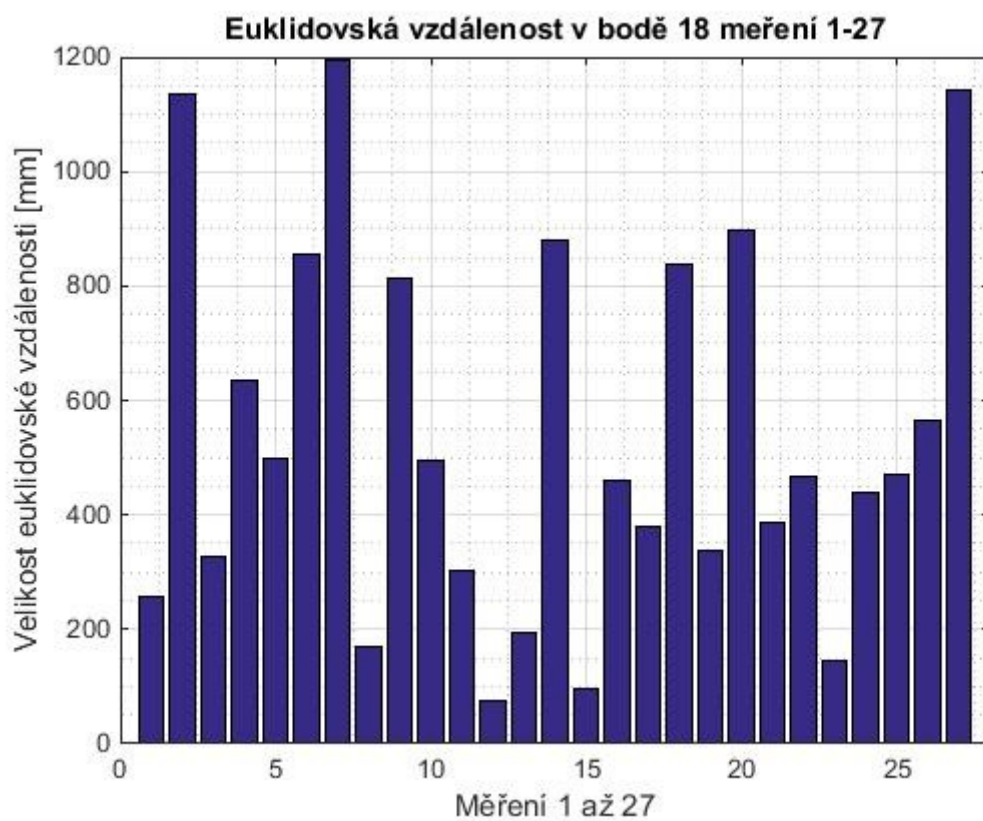


Obrázek 64: Euklidovské vzdálenosti pro bod 13

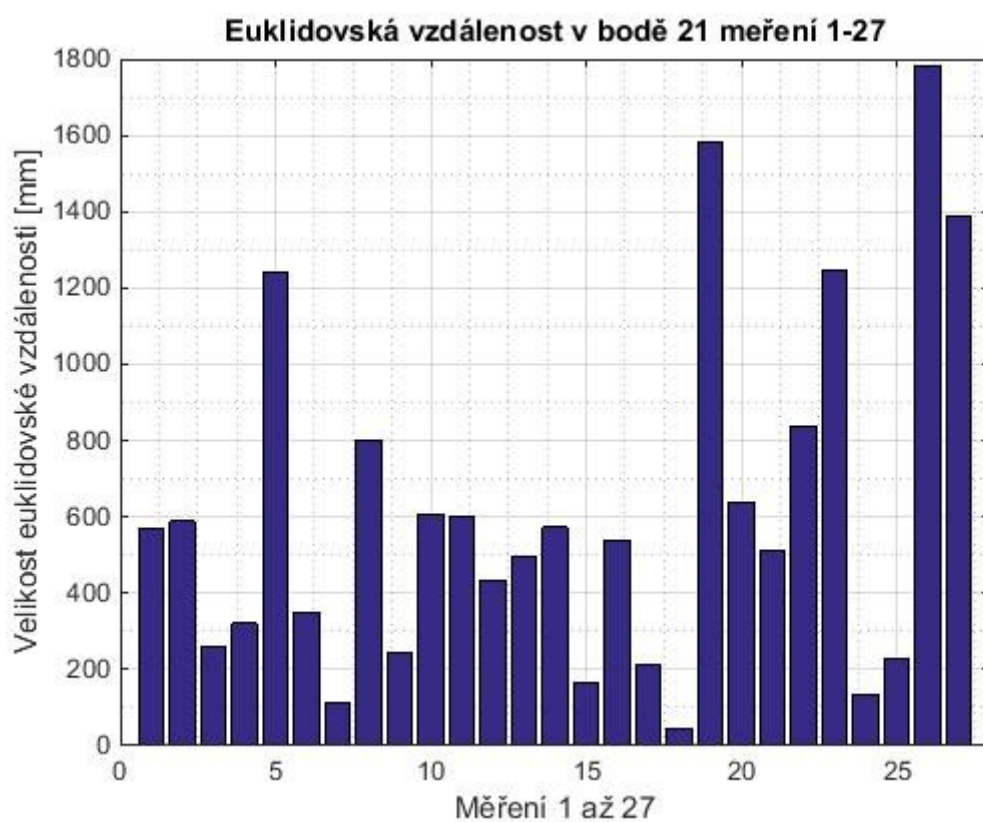


Obrázek 65: Euklidovské vzdálenosti pro bod 15



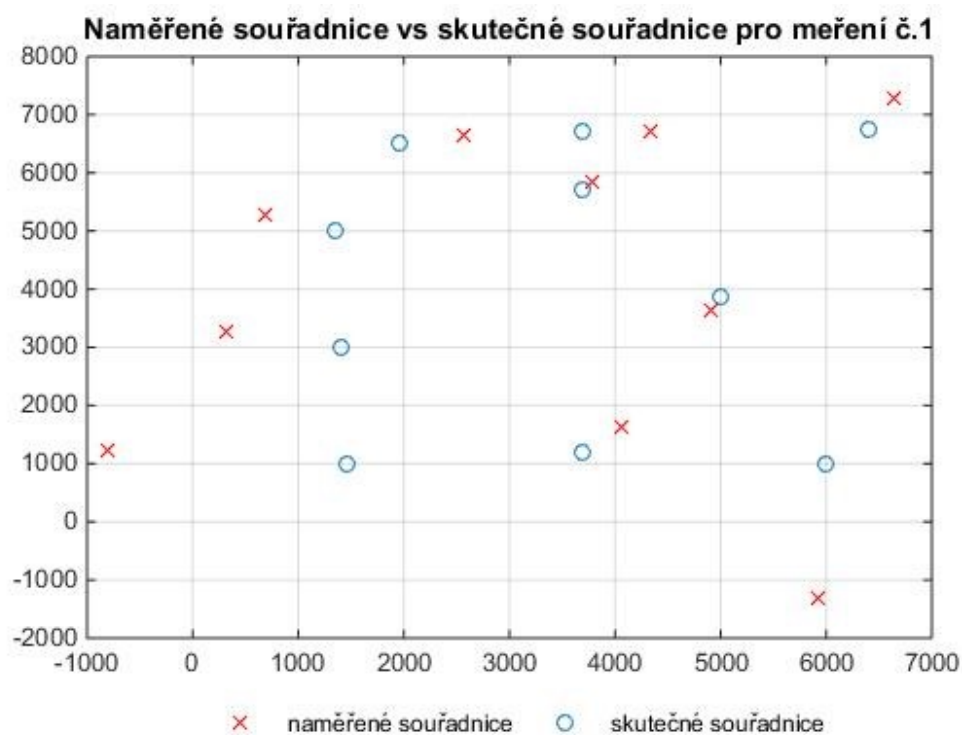


Obrázek 66: Euklidovské vzdálenosti pro bod 18

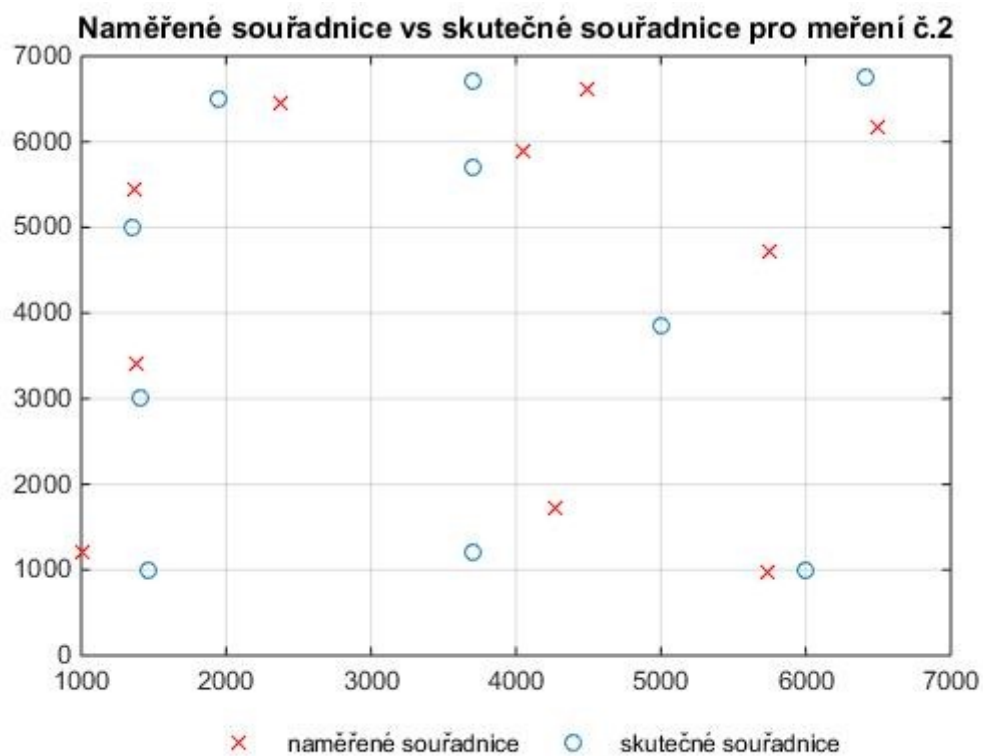


Obrázek 67: Euklidovské vzdálenosti pro bod 21

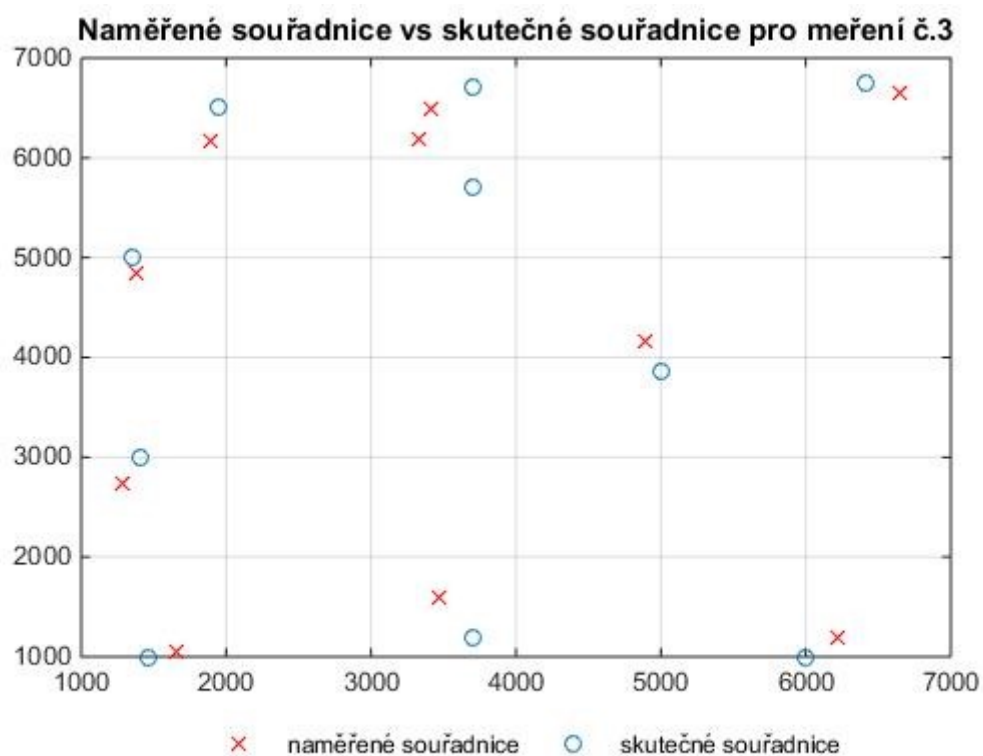
f. Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů v jednom grafu



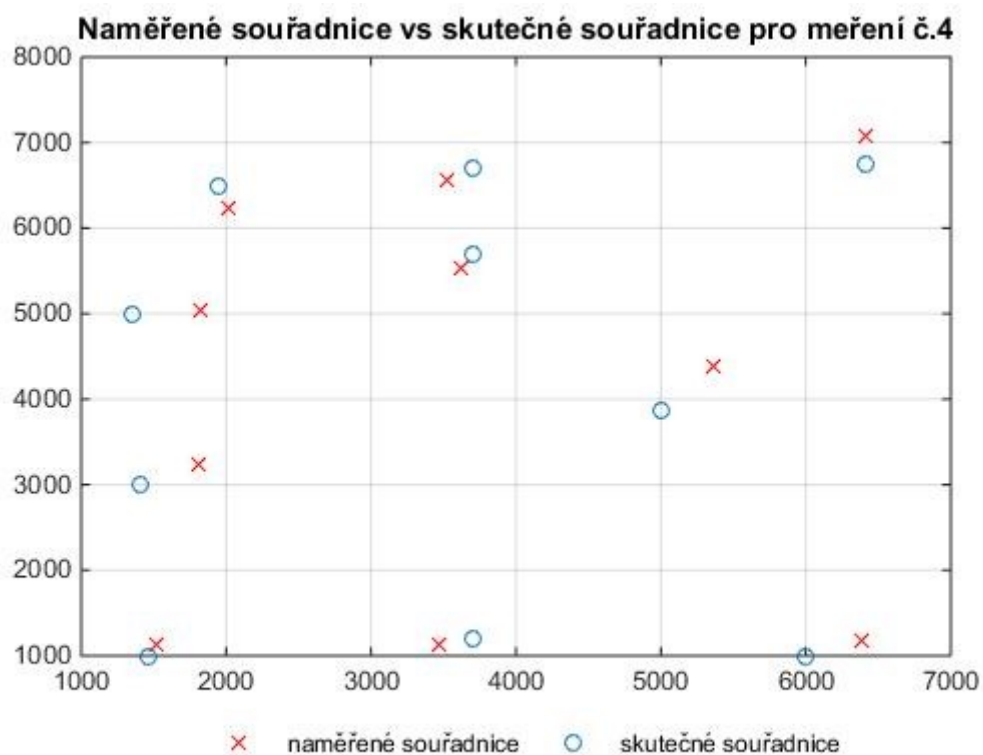
Obrázek 68: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 1



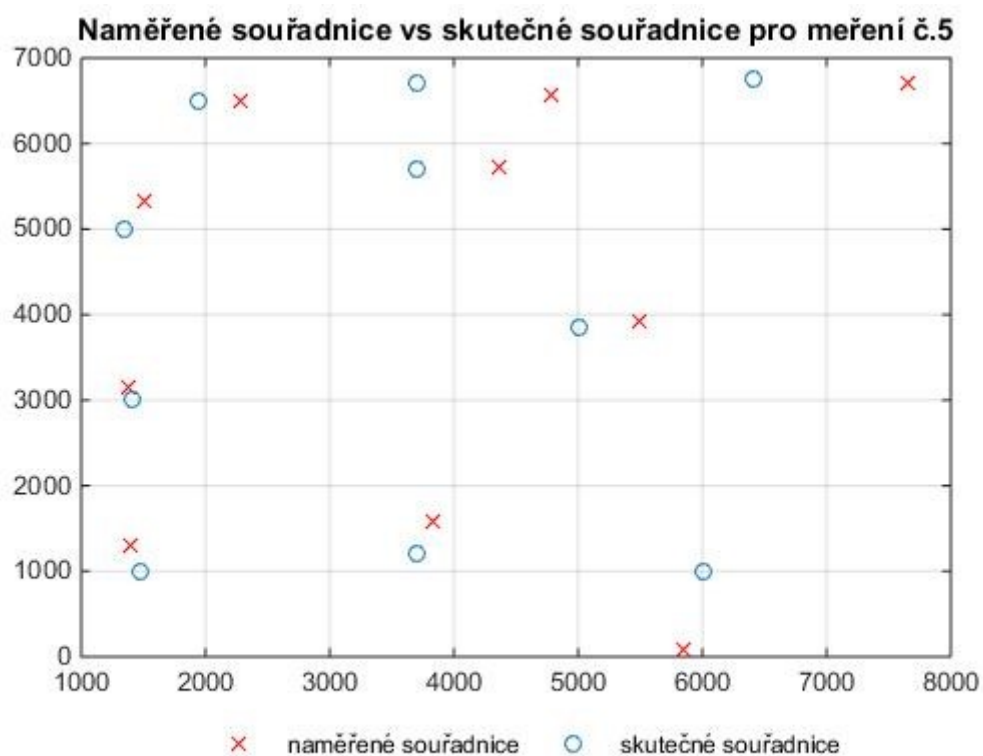
Obrázek 69: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 2



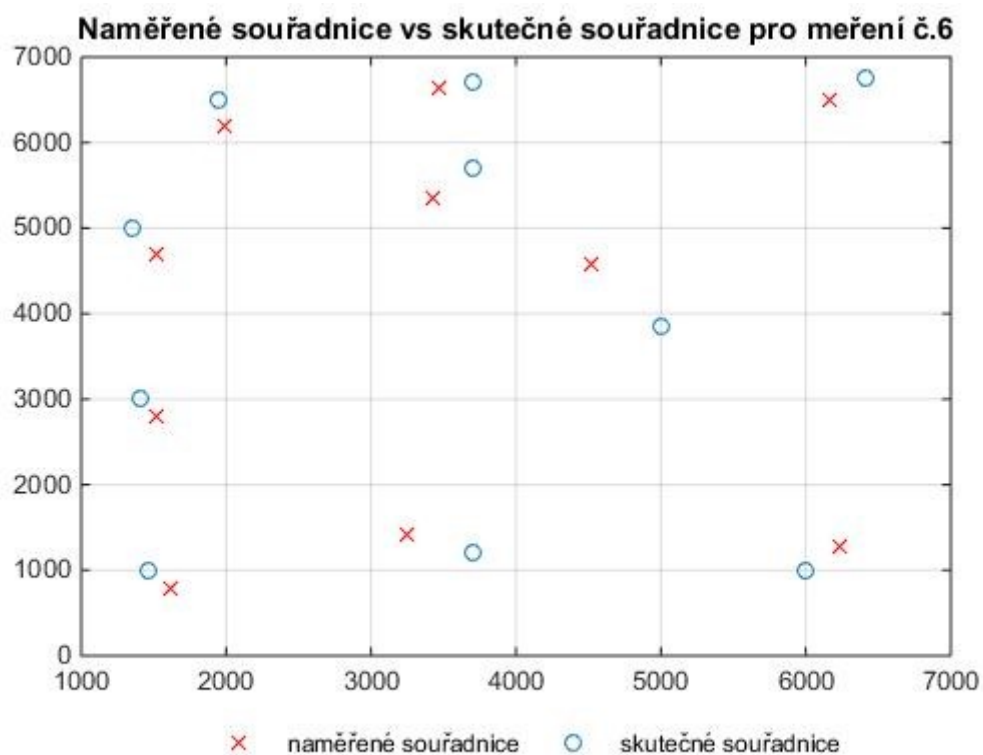
Obrázek 70: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 3



Obrázek 71: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 4

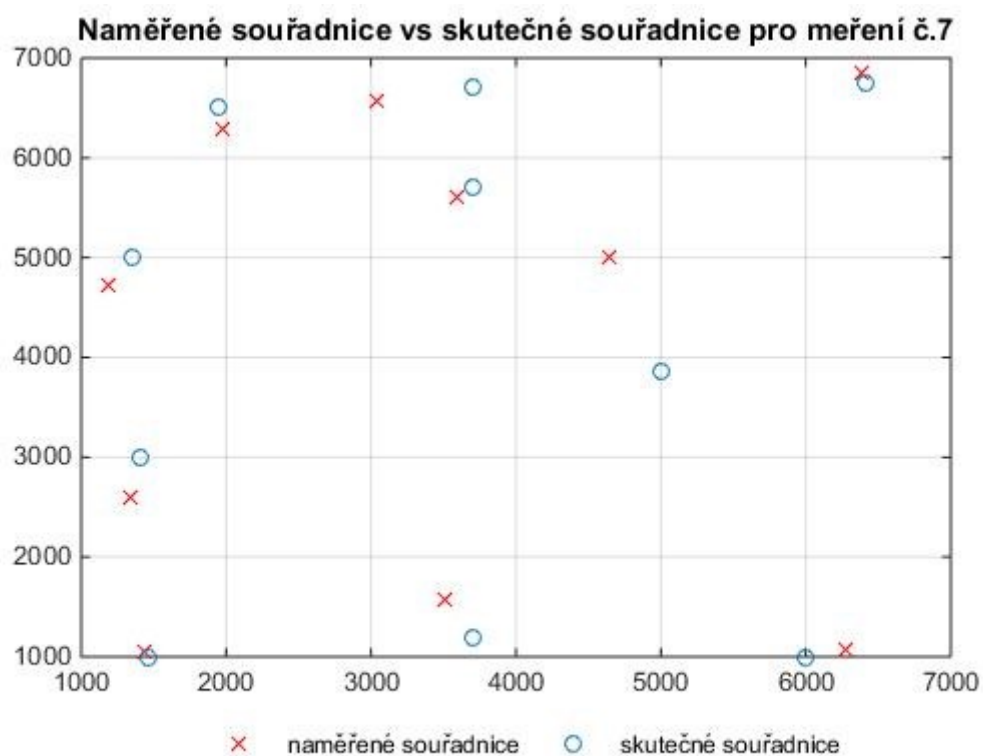


Obrázek 72: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 5

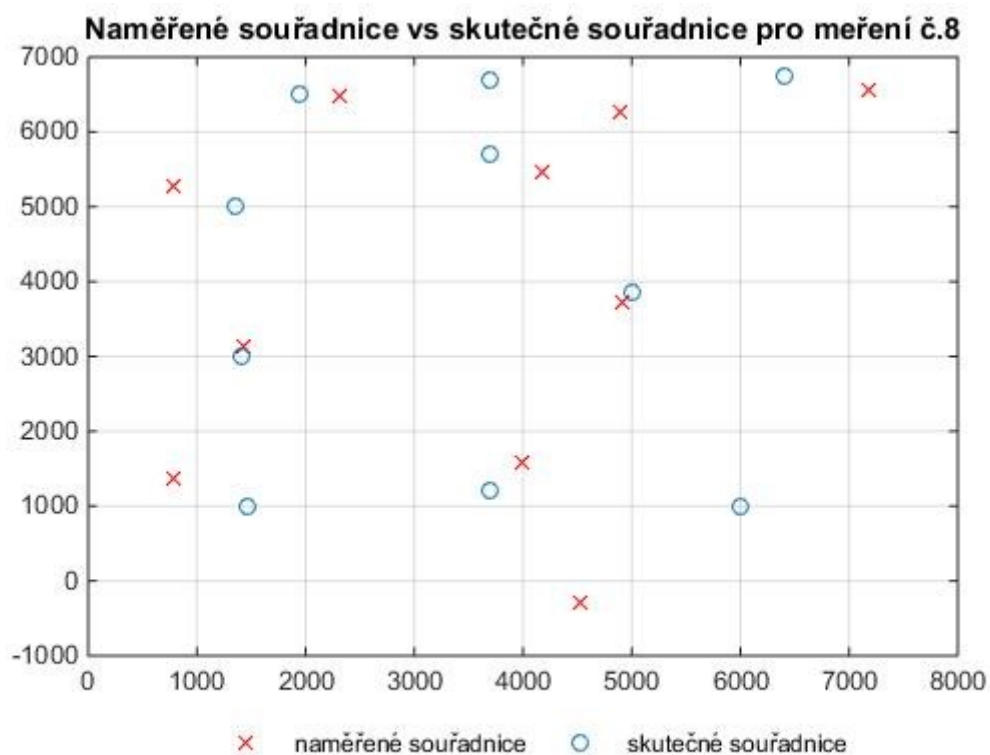


Obrázek 73: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 6

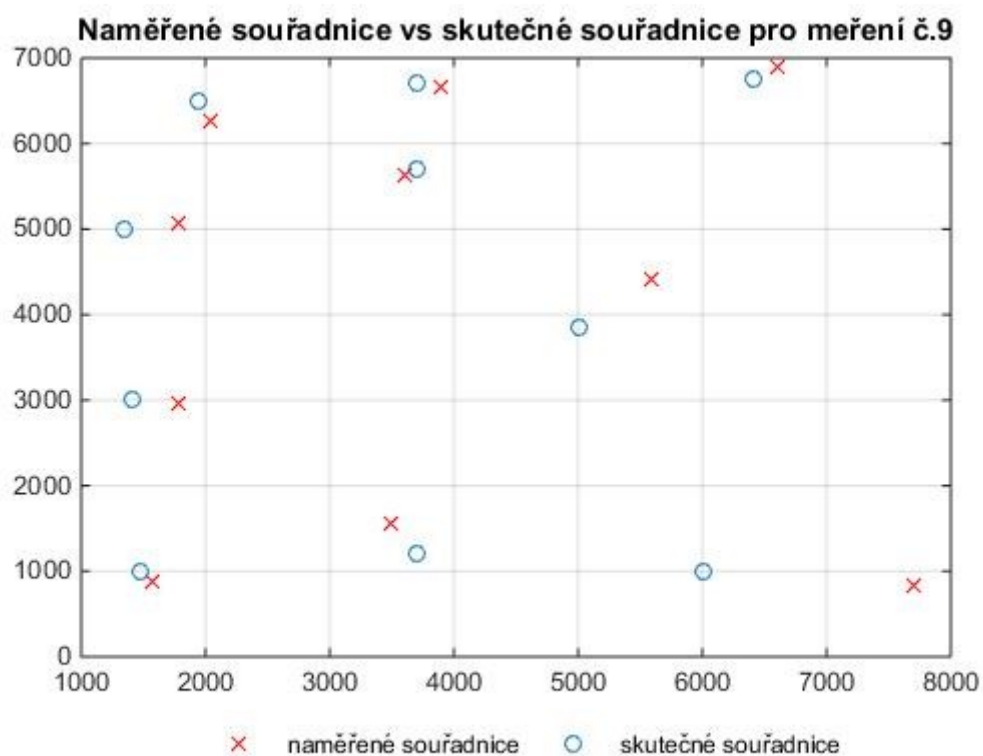




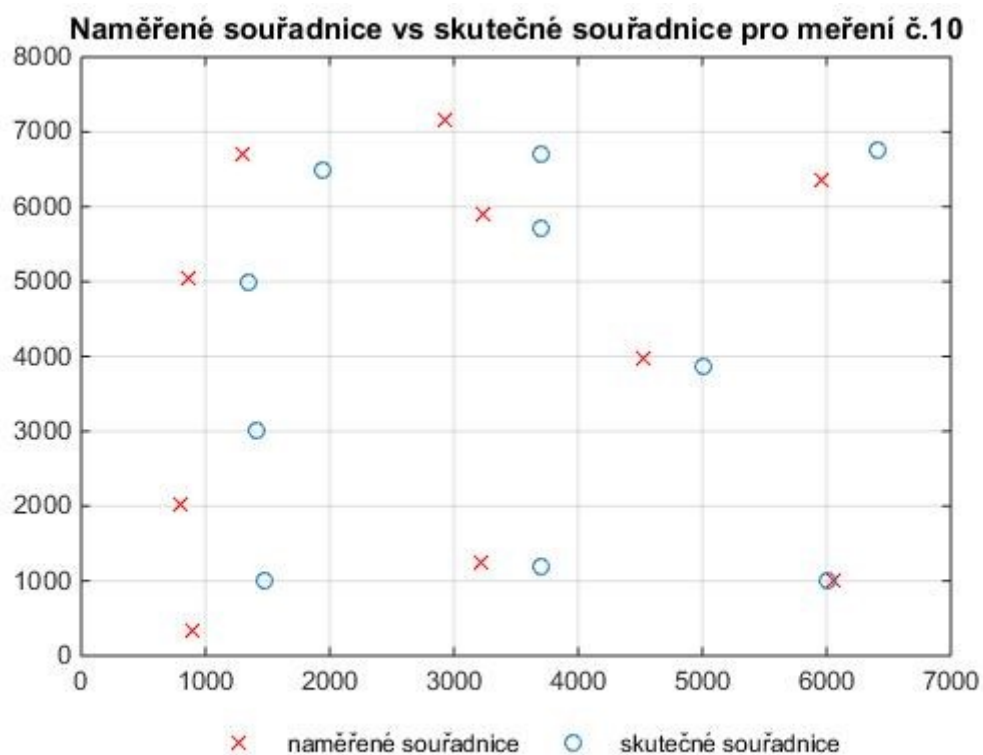
Obrázek 74: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 7



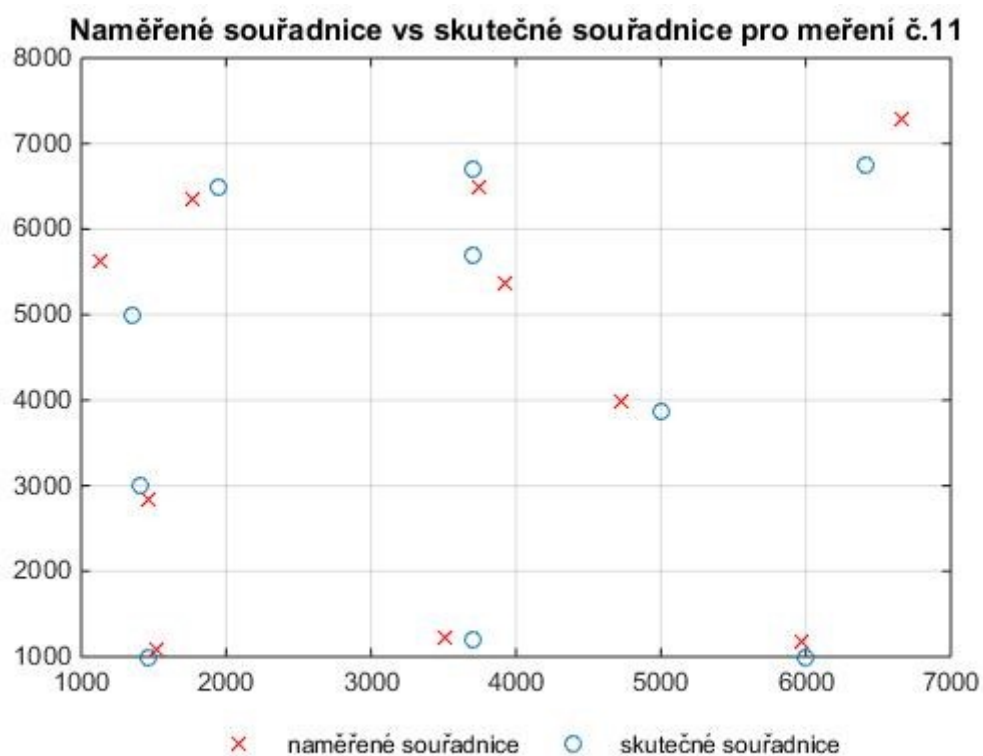
Obrázek 75: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 8



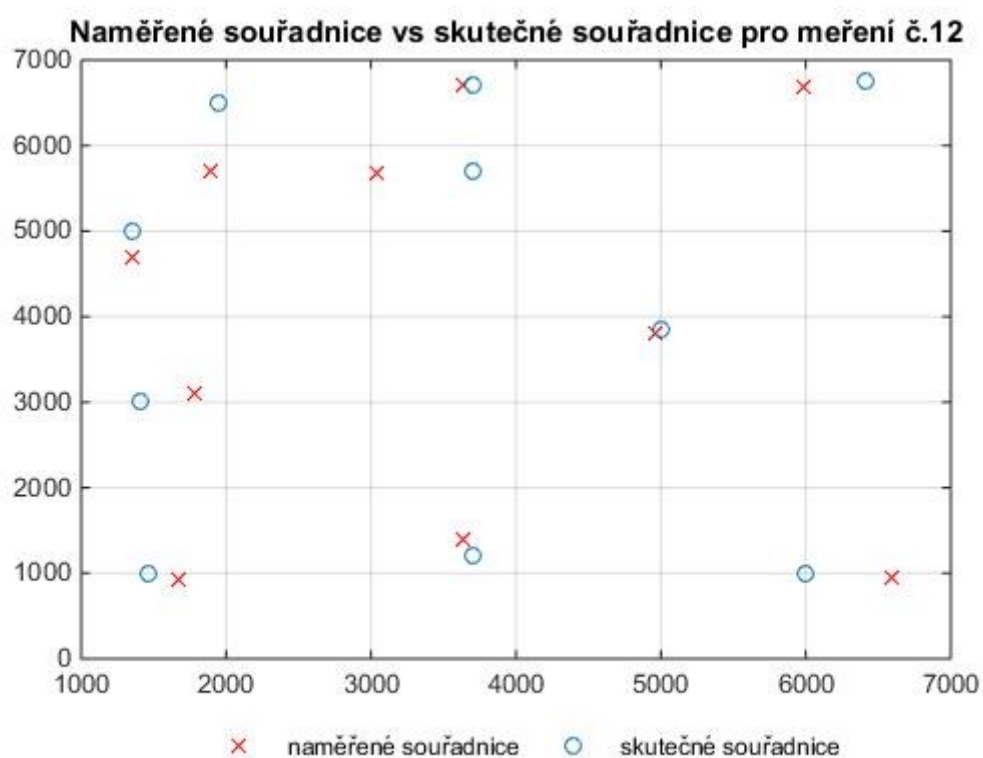
Obrázek 76: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 9



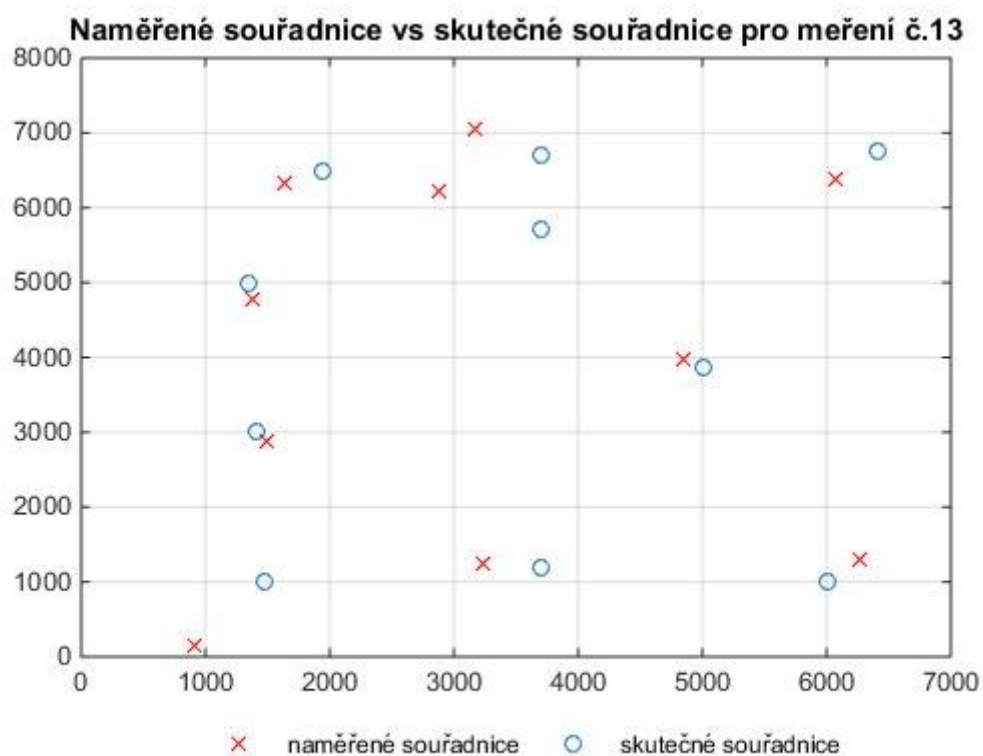
Obrázek 77: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 10



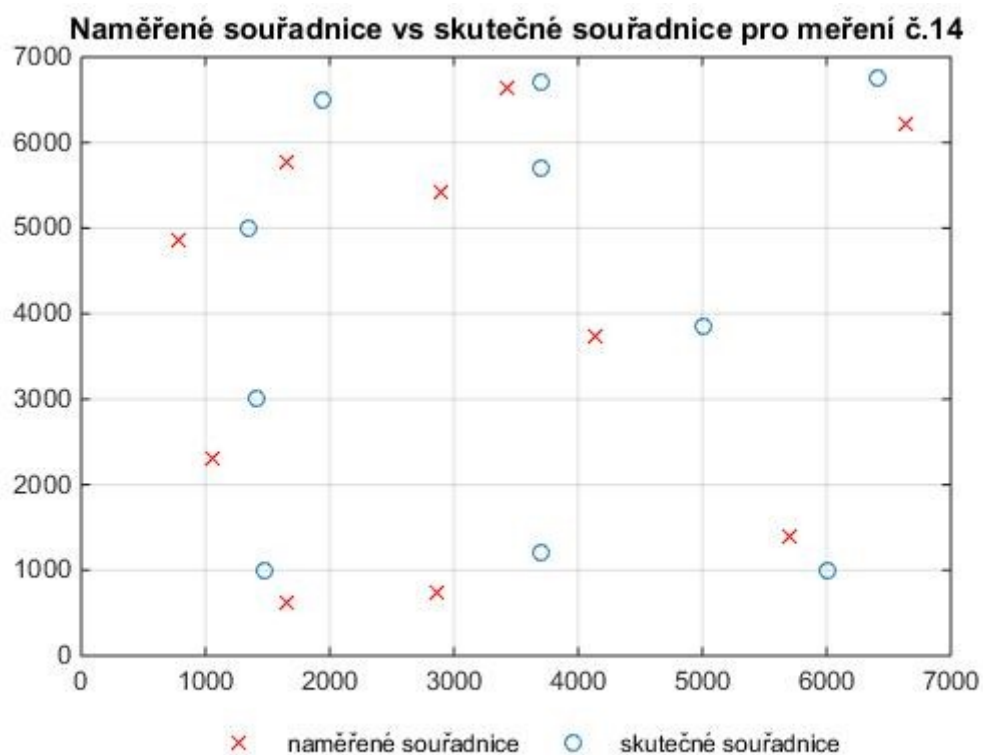
Obrázek 78: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 11



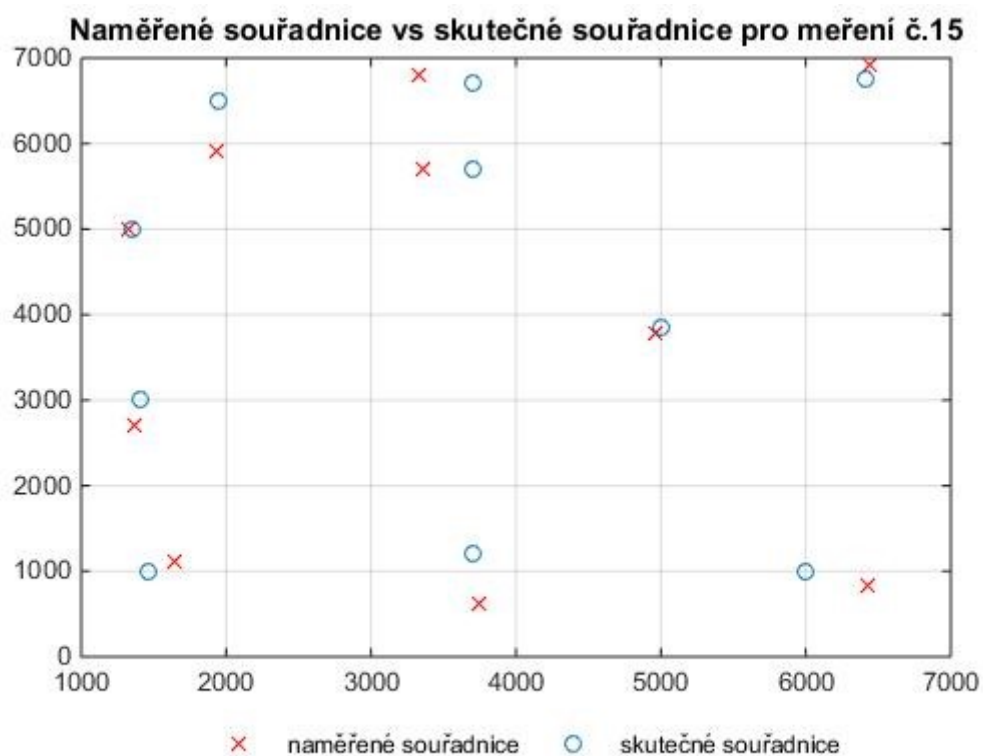
Obrázek 79: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 12



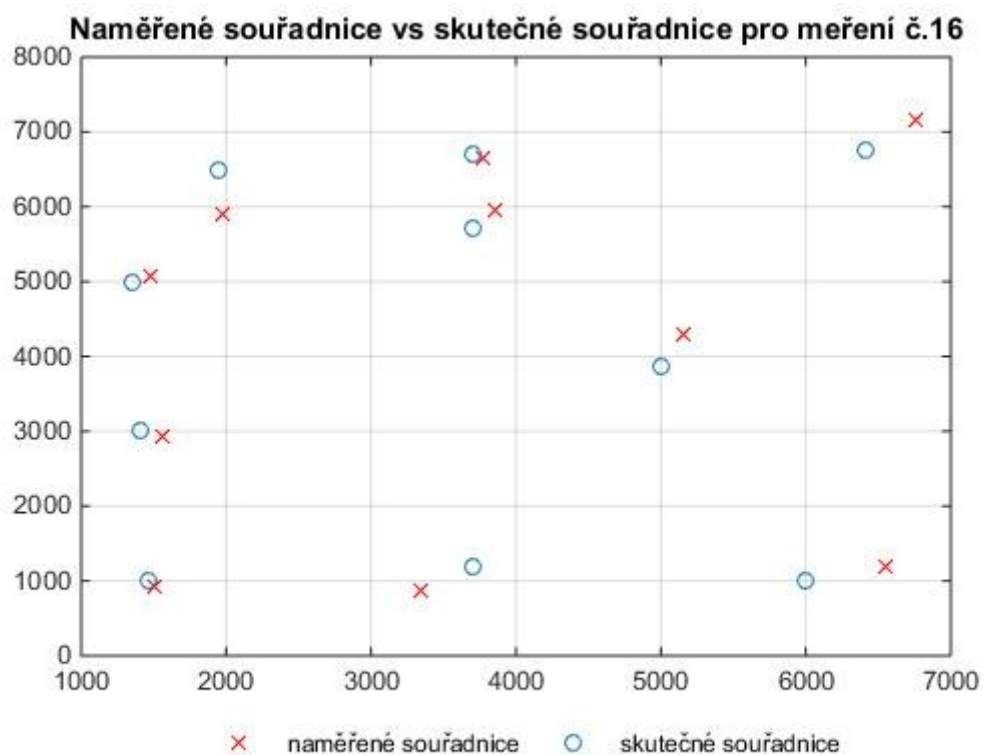
Obrázek 80: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 13



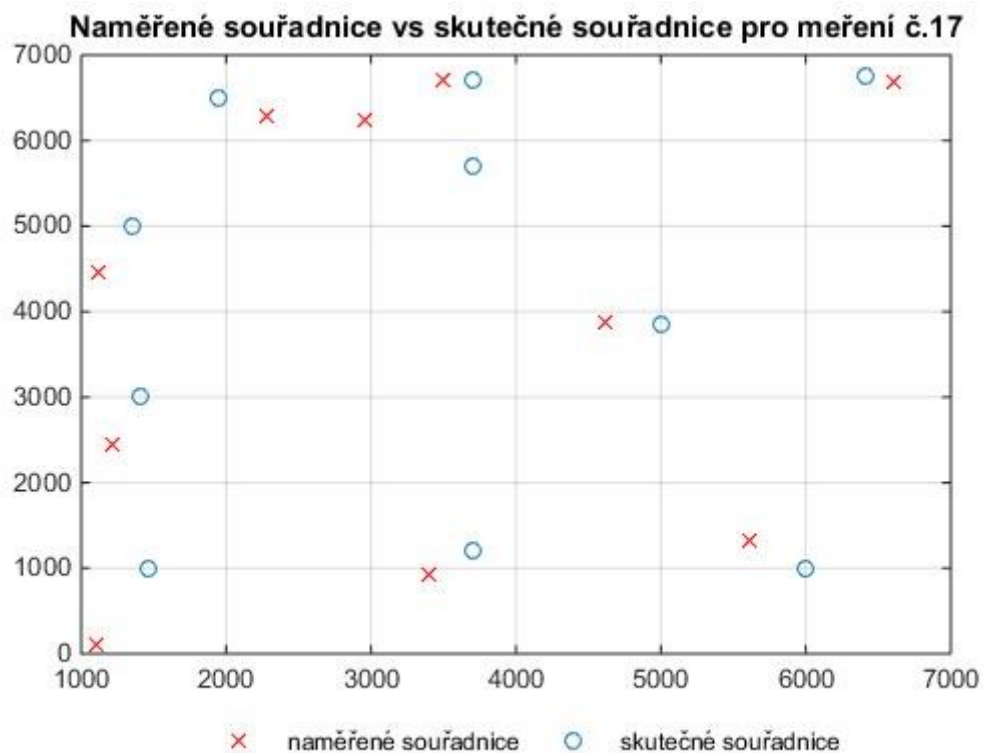
Obrázek 81: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 14



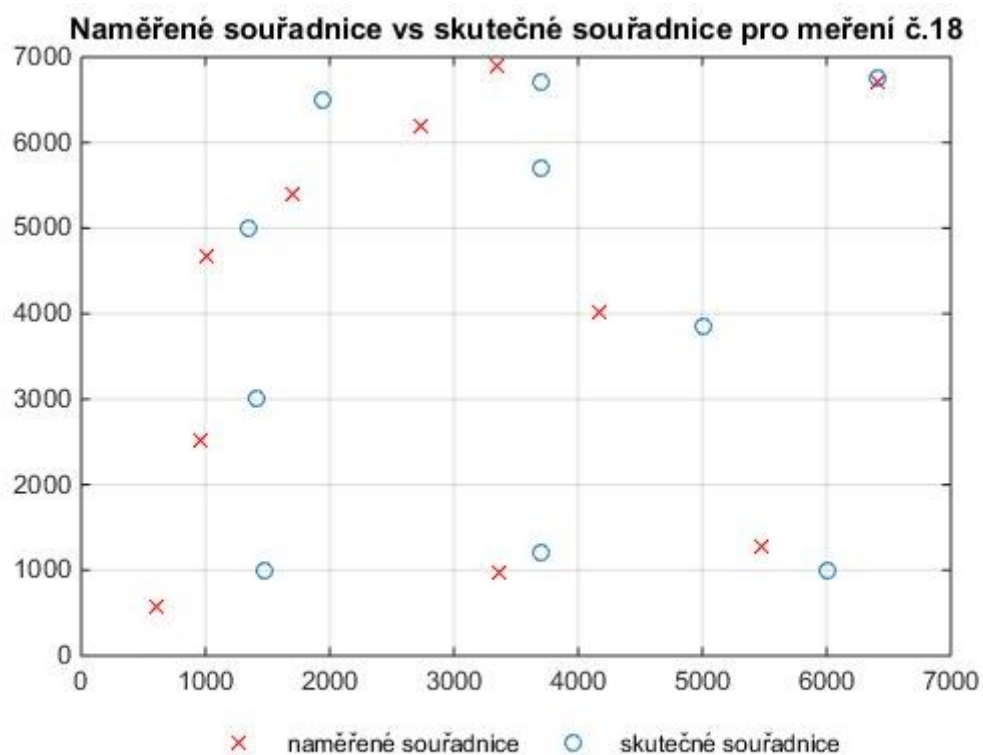
Obrázek 82: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 15



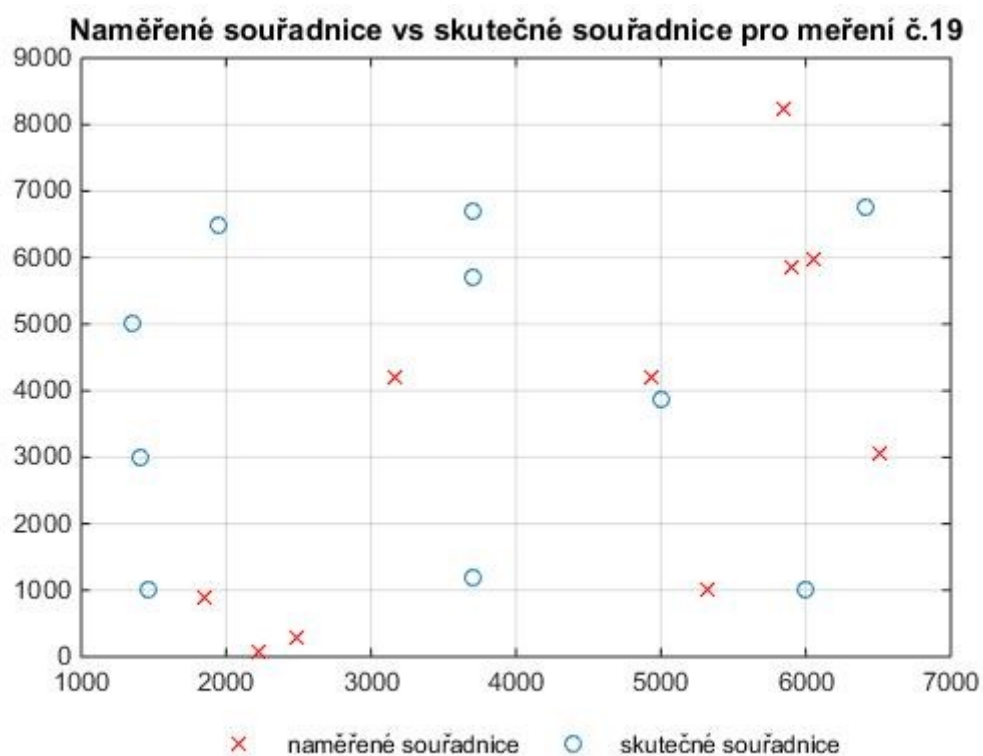
Obrázek 83: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 16



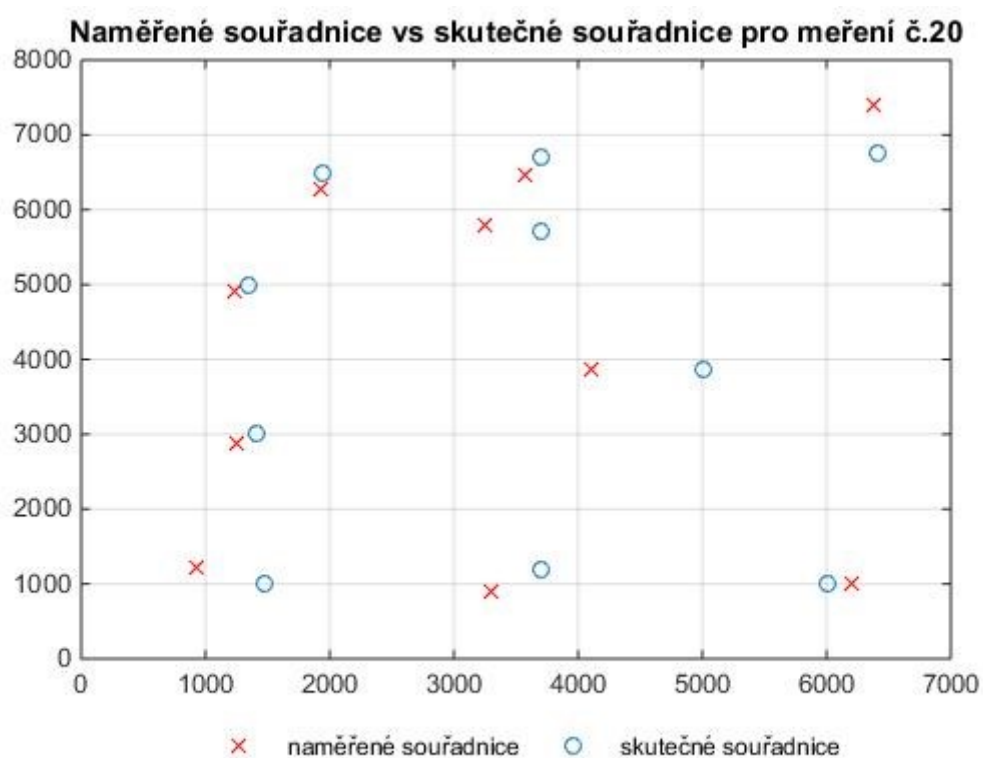
Obrázek 84: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 17



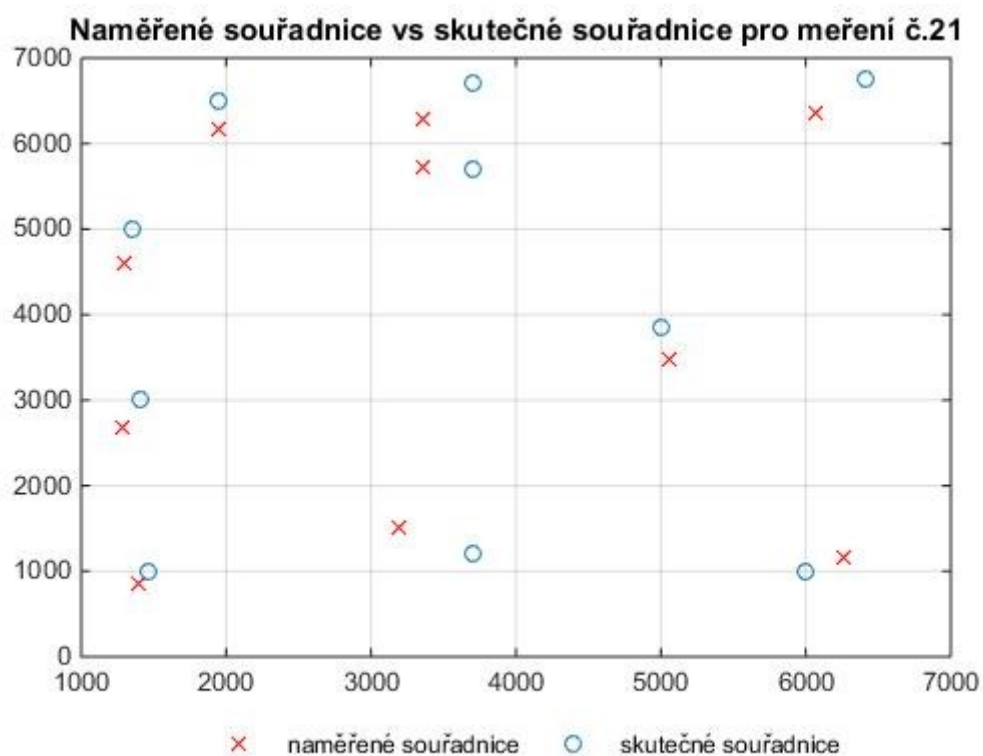
Obrázek 85: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 18



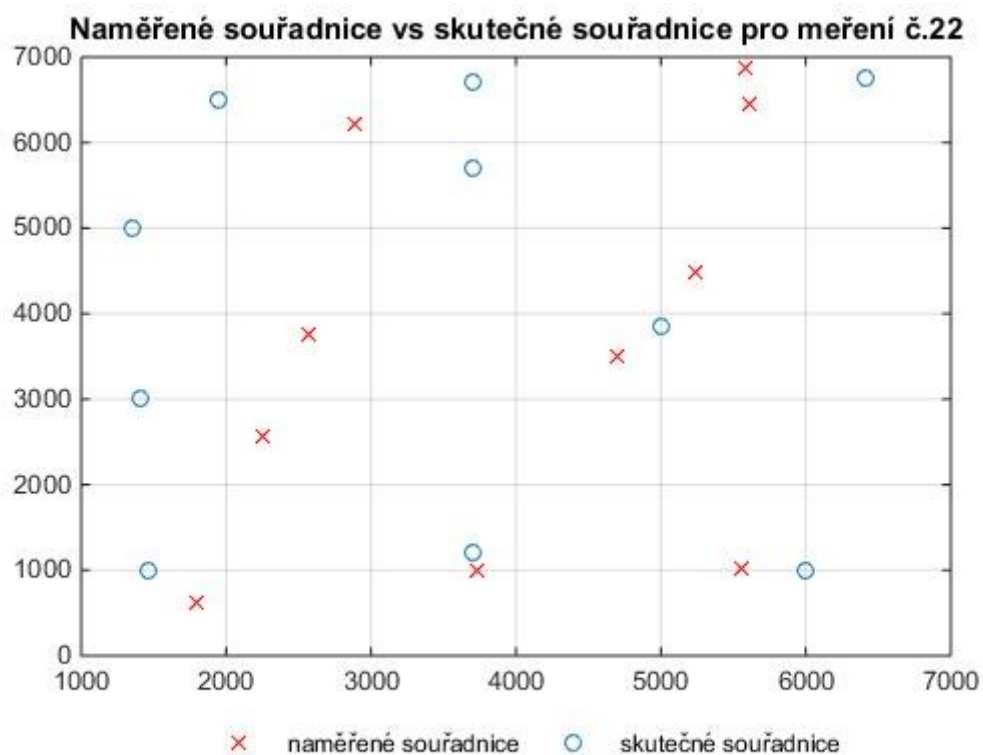
Obrázek 86: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 19



Obrázek 87: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 20

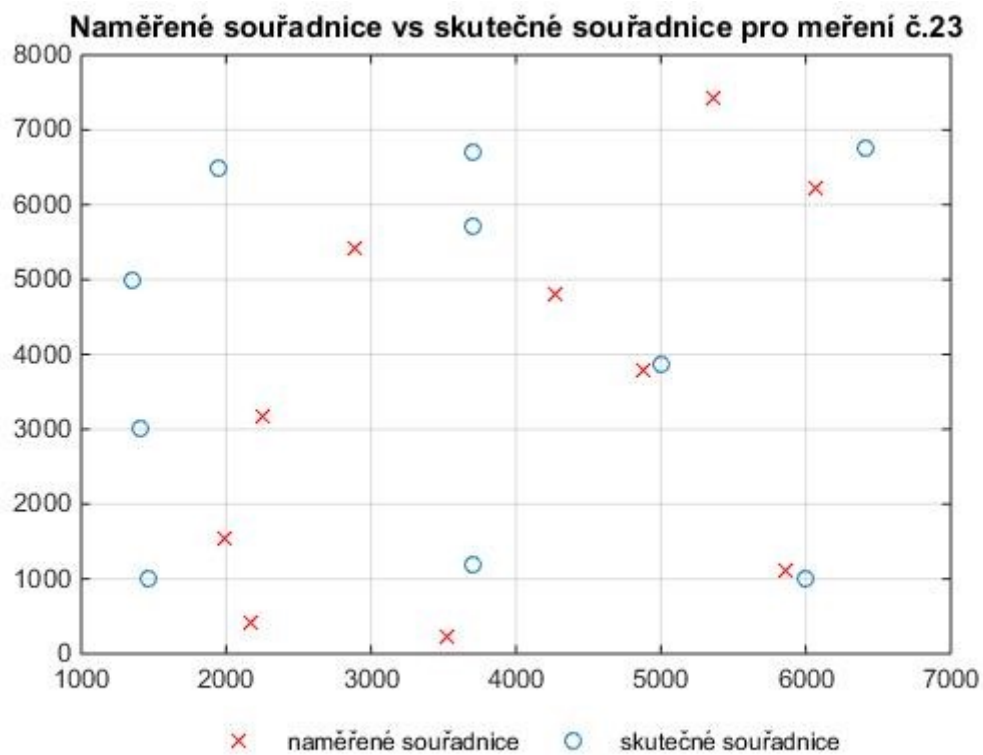


Obrázek 88: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 21

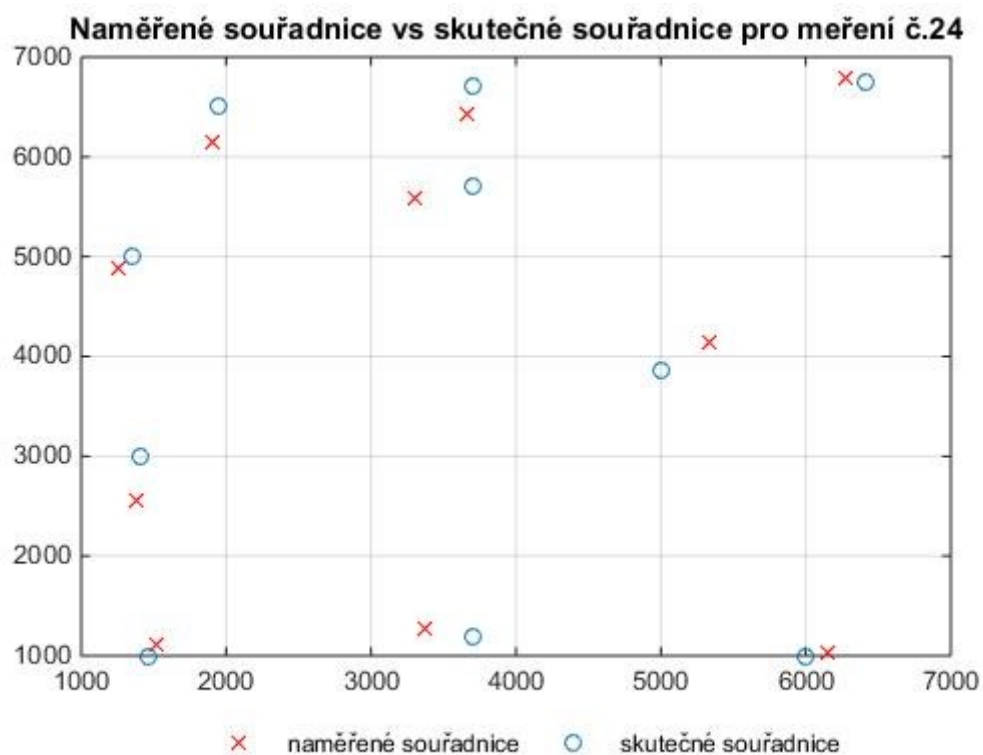


Obrázek 89: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 22

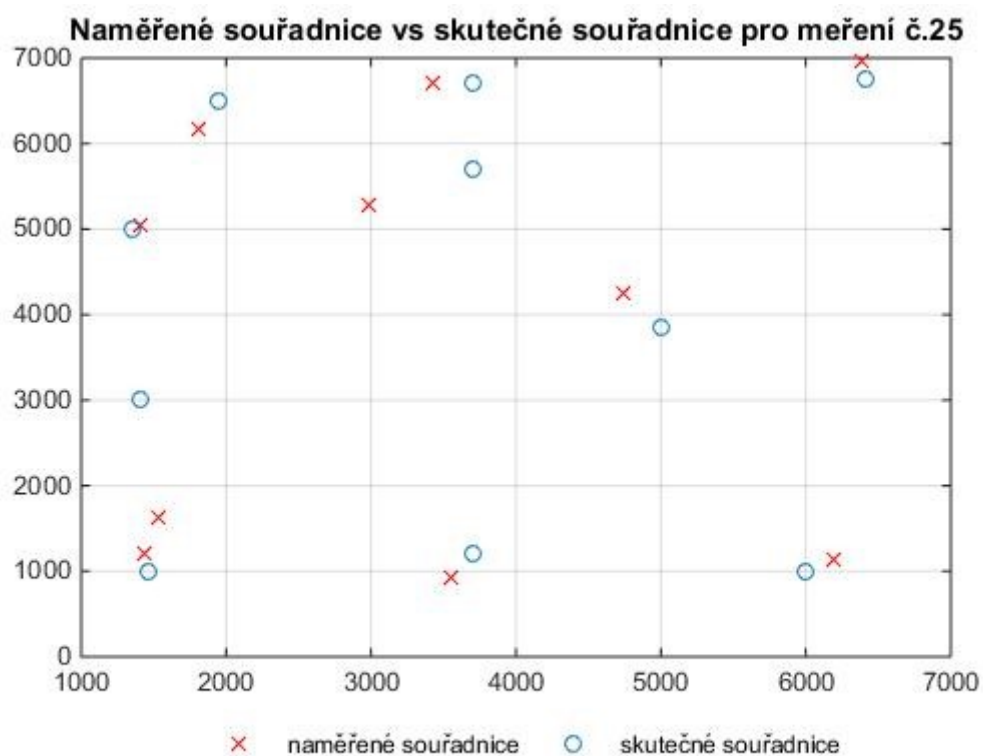




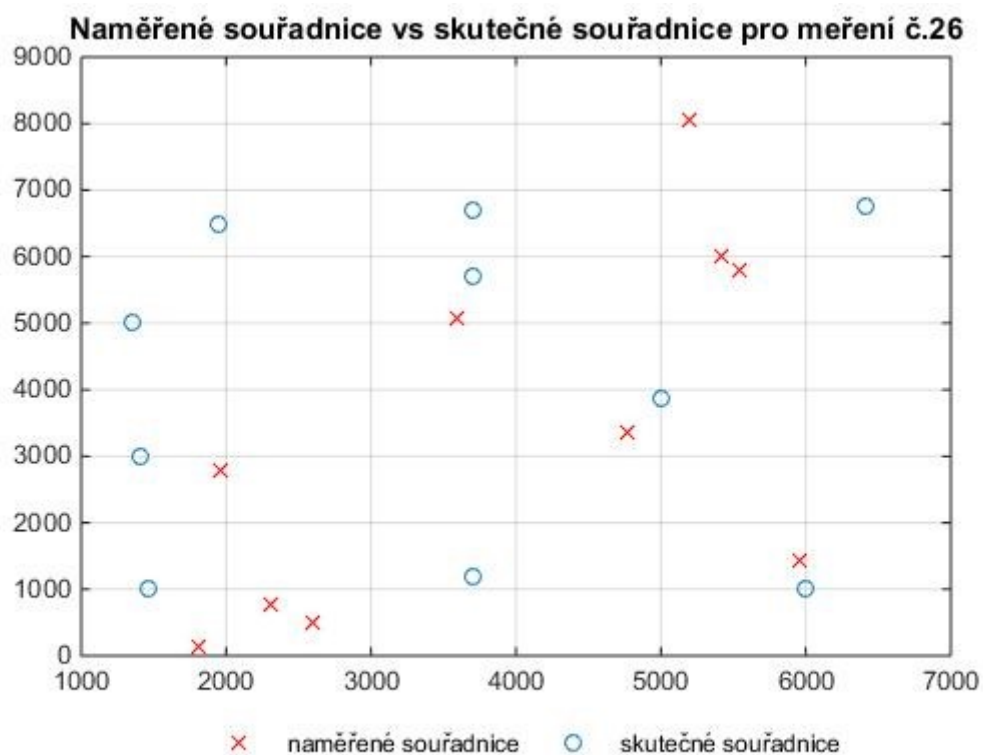
Obrázek 90: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 23



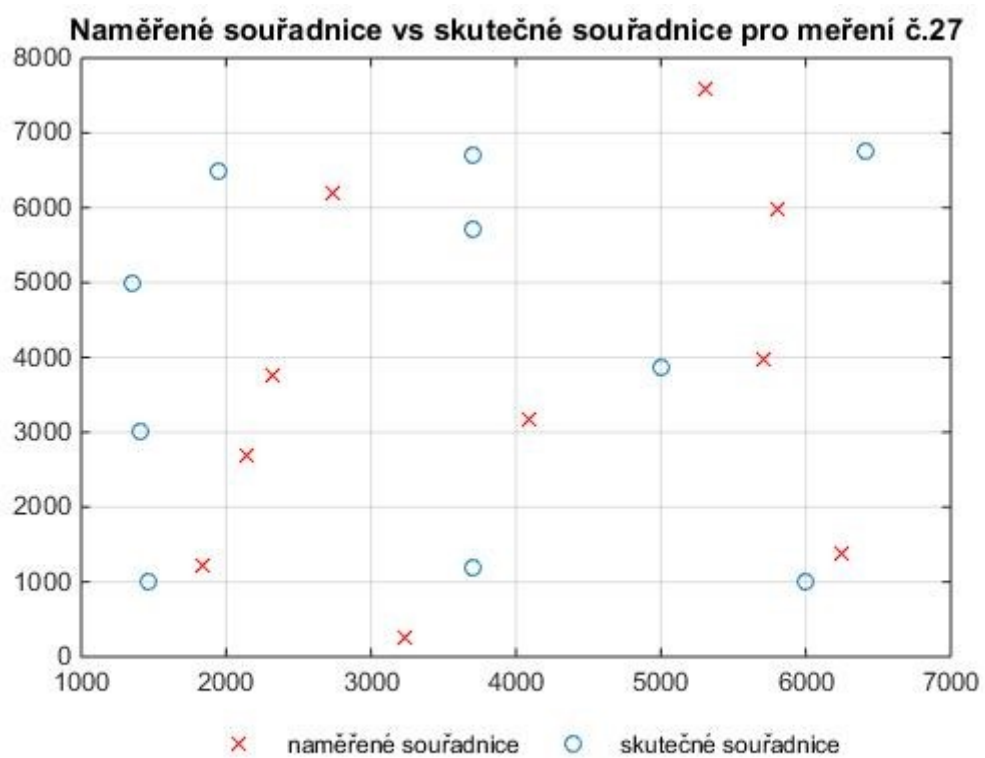
Obrázek 91: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 24



Obrázek 92: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 25



Obrázek 93: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 26



Obrázek 94: Zobrazení skutečných a naměřených souřadnic bodů pro měření č. 27

## Příloha B Výsledky testování ideálního rozložení anchorů

Tabulka 35: Záznamu měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na stojanu

	Ideální rozložení anchorů							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
28.	1.	1258,820276	1124,406682	211,17972	124,40668	126,2686	97,82593	112,0473
	3.	1339,126162	3093,138114	70,873838	93,138114			
	5.	1232,978702	4914,375254	117,0213	85,624746			
	7.	1837,095398	6455,712682	112,9046	44,287318			
	8.	3723,896335	6521,611518	23,896335	178,38848			
	9.	3521,433333	5758,587097	178,56667	58,587097			
	13.	3558,840088	1240,042716	141,15991	40,042716			
	15.	6111,106491	970,846856	111,10649	29,153144			
	18.	5211,018357	3638,918841	211,01836	221,08116			
	21.	6494,958711	6646,450151	84,958711	103,54985			

Tabulka 36: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí před stojanem

	Před							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
29.	1.	1402,80257	1250,602804	67,19743	250,6028	56,33546	145,8566	101,096
	3.	1412,265845	3154,707746	2,2658451	154,70775			
	5.	1447,275049	5131,451866	97,275049	131,45187			
	7.	1983,584222	6732,605544	33,584222	232,60554			
	8.	3711,151976	6602,597264	11,151976	97,402736			
	9.	3654,614481	5708,592955	45,385519	8,592955			
	13.	3788,067176	1293,007634	88,067176	93,007634			
	15.	5922,157795	1234,743346	77,842205	234,74335			
	18.	5032,081501	4030,1837	32,081501	170,1837			
	21.	6518,503722	6664,73201	108,50372	85,26799			

Tabulka 37: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí za stojanem

	Za							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
30.	1.	1408,297561	1260,076423	61,702439	260,07642	118,0885	187,22	152,6542
	3.	1457,509395	3145,014614	47,509395	145,01461			
	5.	1456,0869	5134,313878	106,0869	134,31388			
	7.	2143,765267	6875,185115	193,76527	375,18511			
	8.	3293,953704	6846,44213	406,0463	146,44213			
	9.	3669,736842	5744,406316	30,263158	44,406316			
	13.	3773,662	1335,092	73,662	135,092			
	15.	5928,021505	1244,3149	71,978495	244,3149			
	18.	4932,595925	4162,803056	67,404075	302,80306			
	21.	6532,466495	6665,448454	122,46649	84,551546			

Tabulka 38: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí vpravo od stojanu

	Vpravo							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
31.	1.	1412,135	1257,413333	57,865	257,41333	66,6761	157,304	111,9901
	3.	1358,096986	3234,842726	51,903014	234,84273			
	5.	1457,379528	5158,744882	107,37953	158,74488			
	7.	1971,430809	6708,373368	21,430809	208,37337			
	8.	3651,044693	6649,225326	48,955307	50,774674			
	9.	3651,654851	5696,811567	48,345149	3,1884328			
	13.	3758,824684	1372,827489	58,824684	172,82749			
	15.	6099,394366	1223,542254	99,394366	223,54225			
	18.	5040,468951	4066,310493	40,468951	206,31049			
	21.	6542,194222	6692,977528	132,19422	57,022472			

Tabulka 39: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, tag umístěn na anchoru, kdy člověk stojí vlevo od stojanu

	Vlevo							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
32.	1.	1366,110057	1262,910816	103,88994	262,91082	64,81303	129,6006	97,20684
	3.	1423,162234	3121,257979	13,162234	121,25798			
	5.	1472,506849	5095,326484	122,50685	95,326484			
	7.	1847,748201	6600,748201	102,2518	100,7482			
	8.	3705,467949	6655,784188	5,4679487	44,215812			
	9.	3647,09628	5688,056893	52,90372	11,943107			
	13.	3727,822323	1291,127563	27,822323	91,127563			
	15.	5891,163242	1235,64726	108,83676	235,64726			
	18.	5040,004292	4058,188841	40,004292	198,18884			
	21.	6481,284404	6615,359633	71,284404	134,64037			

Tabulka 40: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vpřed (strana D)

	Čelem vpřed (strana D)							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
33.	1.	1475,117497	929,2260536	5,1174968	70,773946	316,7111	123,7281	220,2196
	3.	1827,504979	3005,650071	417,50498	5,6500711			
	5.	1734,730769	4622,330128	384,73077	377,66987			
	7.	2335,452546	6456,061343	385,45255	43,938657			
	8.	4064,306122	6442,33008	364,30612	257,66992			
	9.	4105,593516	5521,061097	405,59352	178,9389			
	13.	3942,964341	1331,43876	242,96434	131,43876			
	15.	6167,432606	1120,70475	167,43261	120,70475			
	18.	5248,120238	3812,803571	248,12024	47,196429			
	21.	6955,888755	6746,700121	545,88875	3,2998791			

Tabulka 41: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vzad (strana A)

	Čelem vzad (strana A)							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
34.	1.	720,4322799	1268,706546	749,56772	268,70655	334,1157	171,2666	252,6911
	3.	909,3871332	2972,138826	500,61287	27,861174			
	5.	807,5395604	5172,083516	542,46044	172,08352			
	7.	1675,991515	6298,071515	274,00848	201,92848			
	8.	3623,476253	6416,994723	76,523747	283,00528			
	9.	3617,107186	5596,34592	82,892814	103,65408			
	13.	3401,167617	1407,782212	298,83238	207,78221			
	15.	5761,71308	1271,517932	238,28692	271,51793			
	18.	4629,148707	3914,702586	370,85129	54,702586			
	21.	6202,879949	6871,42401	207,12005	121,42401			

Tabulka 42: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vpravo (strana C)

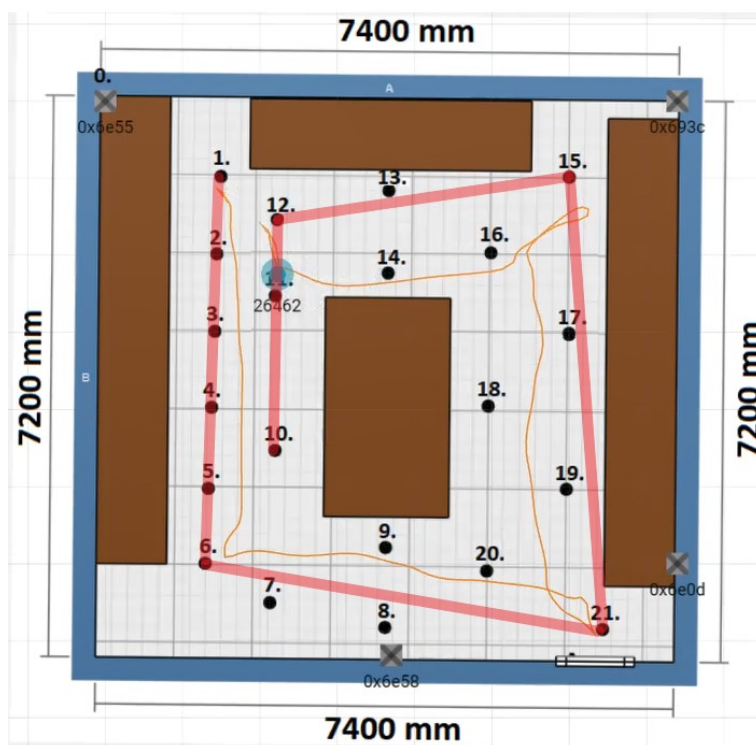
	Čelem doprava (strana C)							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
35.	1.	1265,754522	1428,98708	204,24548	428,98708	279,3323	411,7735	345,5529
	3.	1708,421241	2973,930788	298,42124	26,069212			
	5.	1514,964048	5145,014647	164,96405	145,01465			
	7.	2094,957584	7220,534704	144,95758	720,5347			
	8.	4024,932584	7276,263421	324,93258	576,26342			
	9.	4627,844275	6251,683969	927,84427	551,68397			
	13.	3688,446429	1721,107143	11,553571	521,10714			
	15.	5945,240196	1335,856618	54,759804	335,85662			
	18.	5114,210892	4162,303592	114,21089	302,30359			
	21.	6957,433143	7259,914286	547,43314	509,91429			

Tabulka 43: Záznam měření při ideálním rozmístění anchorů, měřená osoba orientována čelem vlevo (strana B)

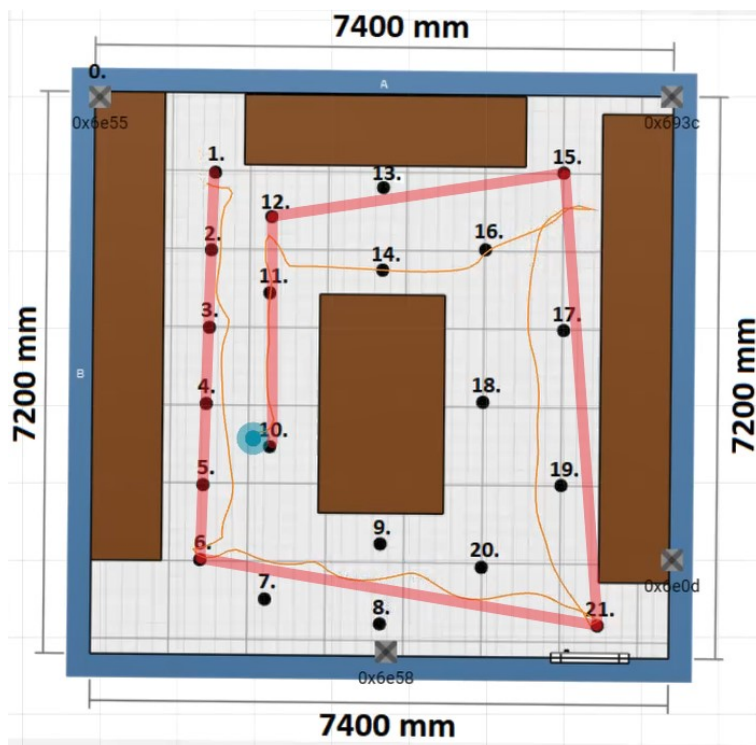
	Čelem doleva (strana B)							
		x [mm]	y [mm]	MAE x [mm]	MAE y [mm]	$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\frac{\bar{x}+\bar{y}}{2}$ [mm]
36.	1.	1296,136925	330,5521886	173,86308	669,44781	185,0853	295,7178	240,4015
	3.	1029,463977	2730,282421	380,53602	269,71758			
	5.	1272,19761	4710,274816	77,80239	289,72518			
	7.	2080,222063	6329,416905	130,22206	170,58309			
	8.	3913,296644	6331,438926	213,29664	368,56107			
	9.	3546,399293	5601,935218	153,60071	98,064782			
	13.	3775,254109	1098,274336	75,254109	101,72566			
	15.	6105,156114	393,5764192	105,15611	606,42358			
	18.	4579,030476	3663,982857	420,96952	196,01714			
	21.	6530,152542	6563,088378	120,15254	186,91162			

## Příloha C Výsledky určování pohybu v laboratoři

### a. Výsledky lokalizace trajektorie č.1 (Obrázek 19)

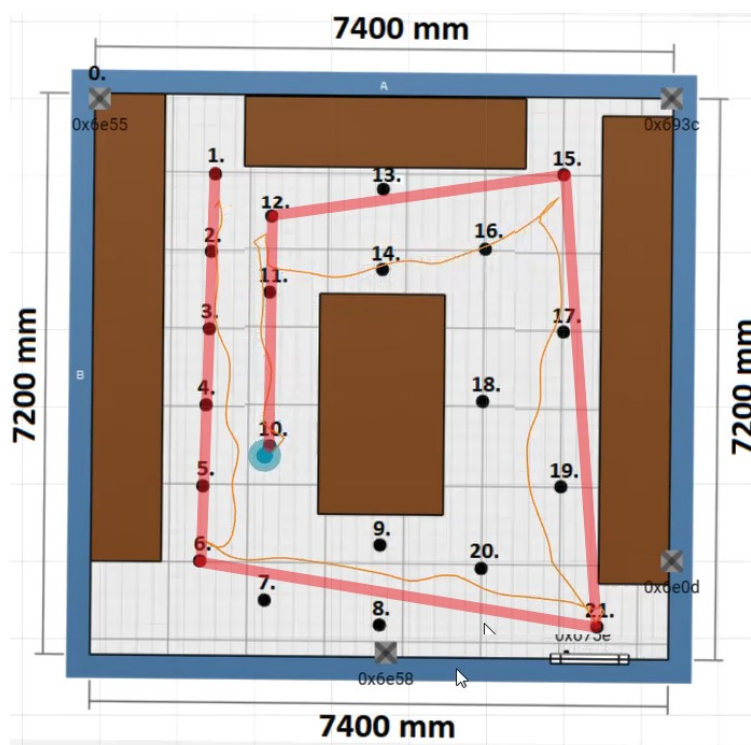


Obrázek 95: Záznamu měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na levé paži

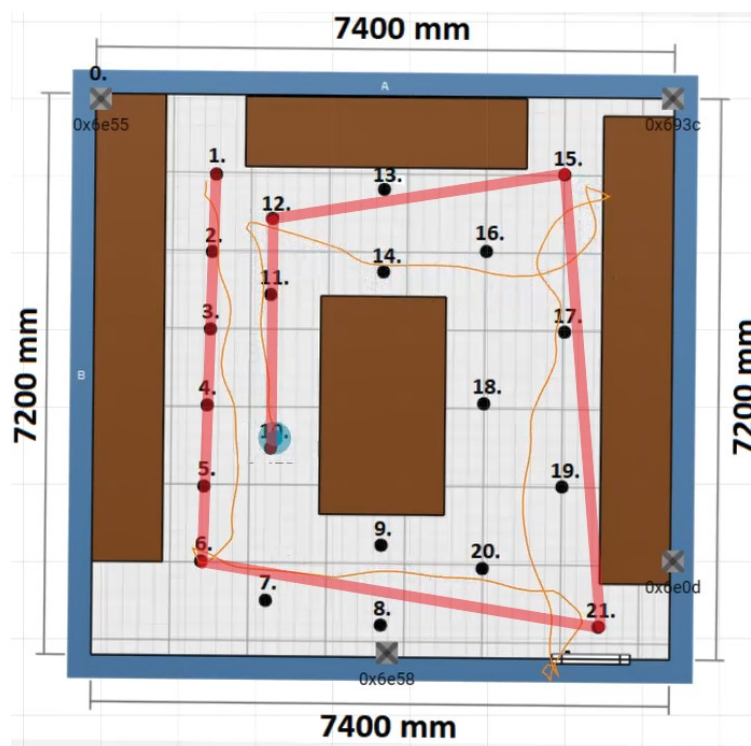


Obrázek 96: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na opasku

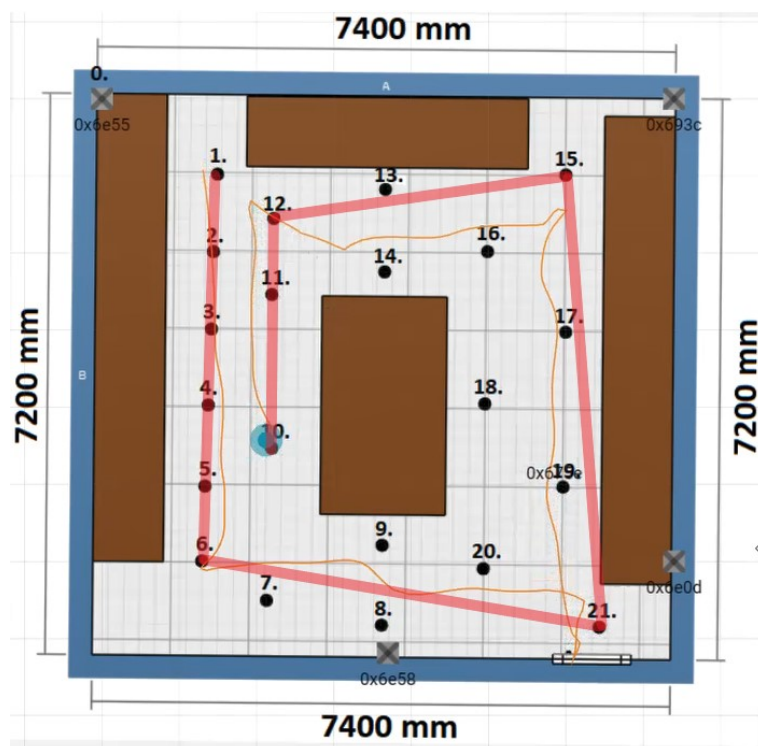




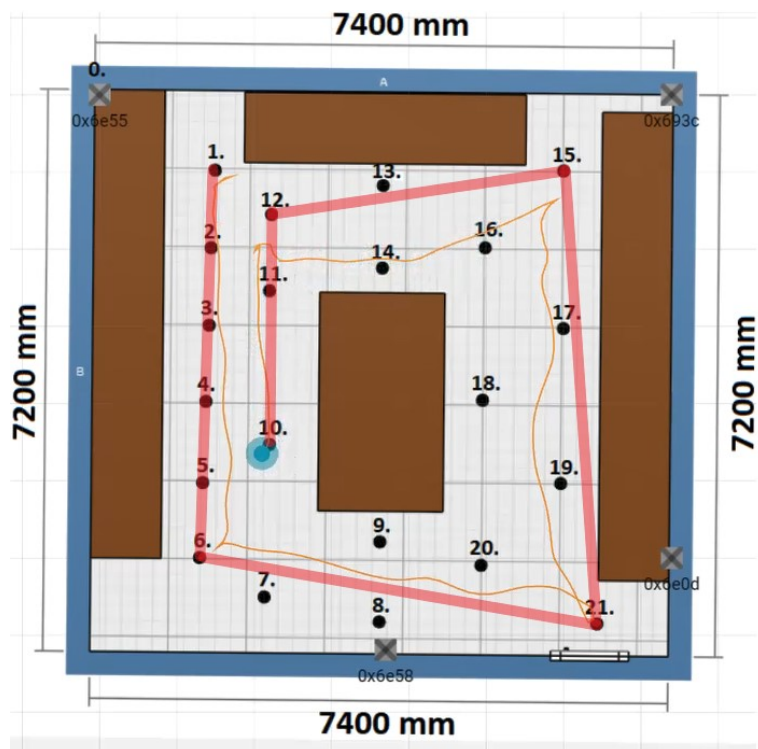
Obrázek 97: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn v náprsní kapse



Obrázek 98: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na levé paži a měření je prováděno s více lidmi v místnosti

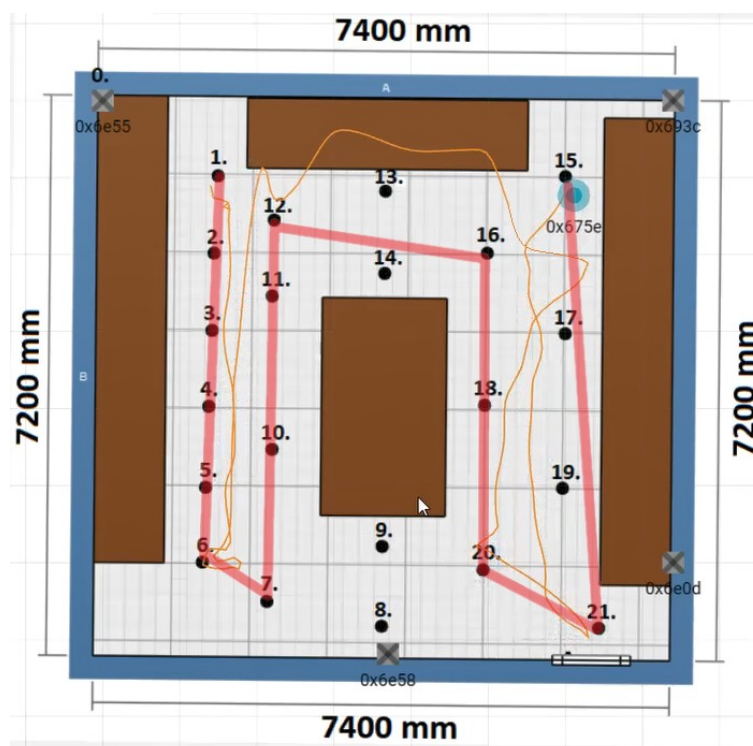


Obrázek 99: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn na opasku a měření je prováděno s více lidmi v místnosti

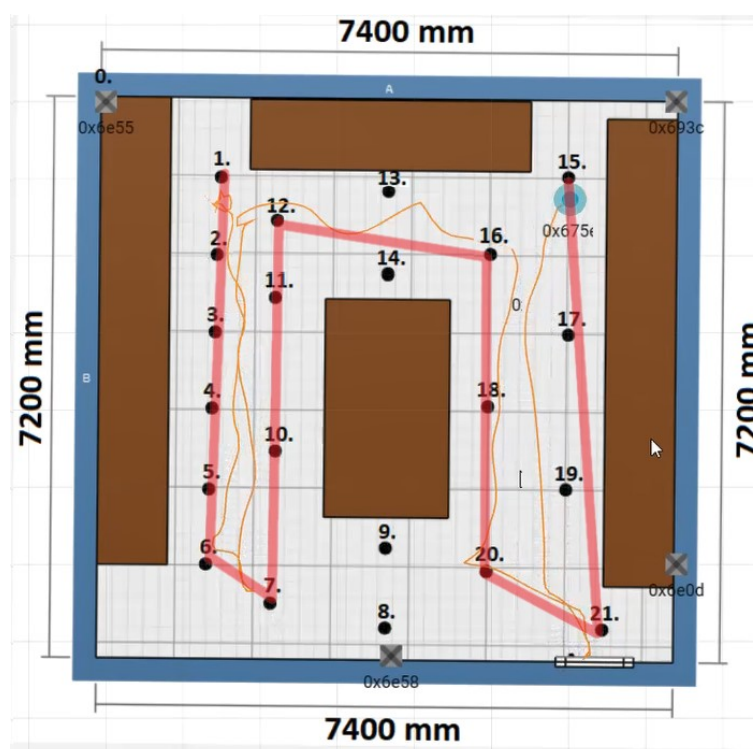


Obrázek 100: Záznam měření podle trajektorie č.1, kdy tag je umístěn v náprsní kapse a měření je prováděno s více lidmi v místnosti

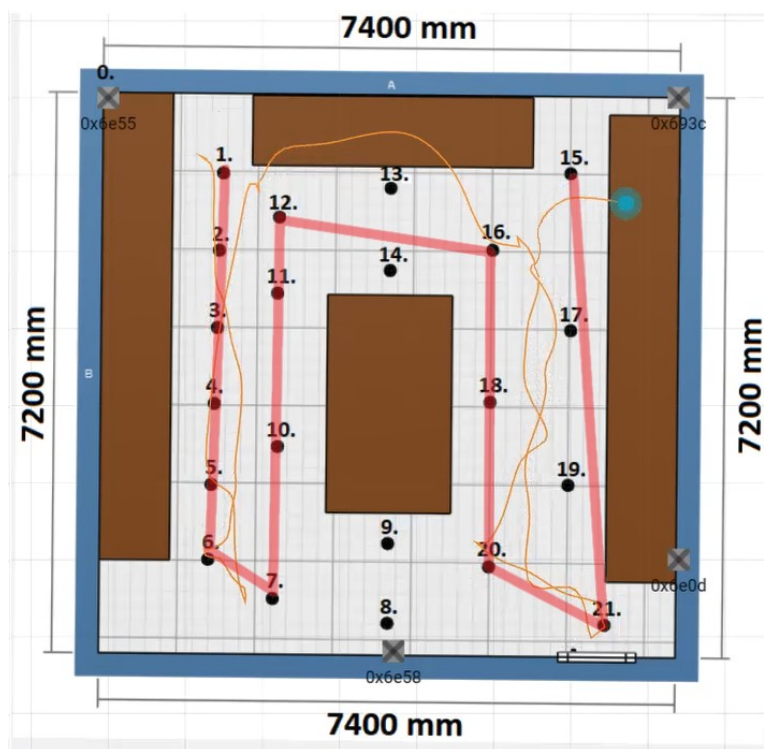
**b. Výsledky lokalizace trajektorie č.2 (Obrázek 20)**



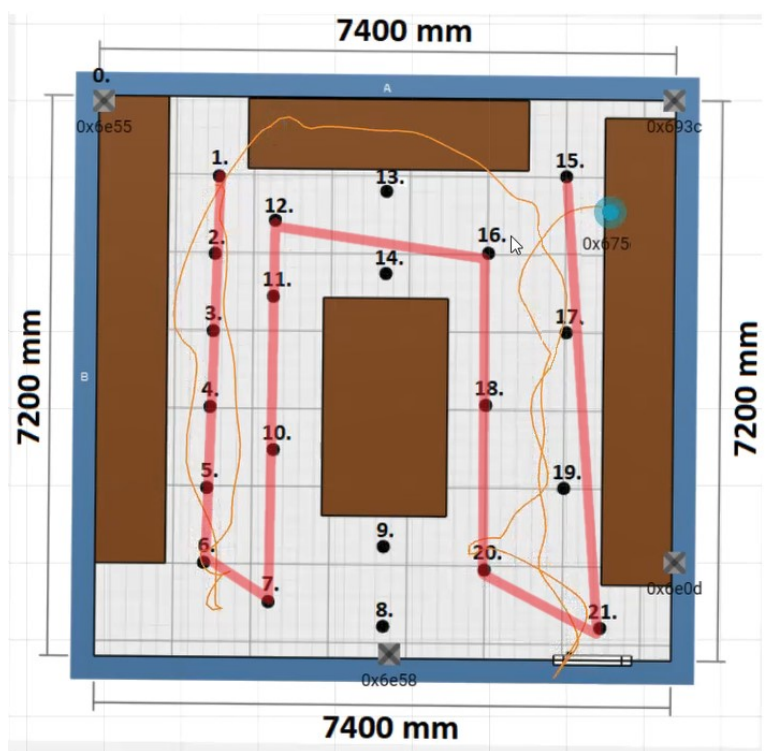
Obrázek 101: Záznamu měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na levé paži



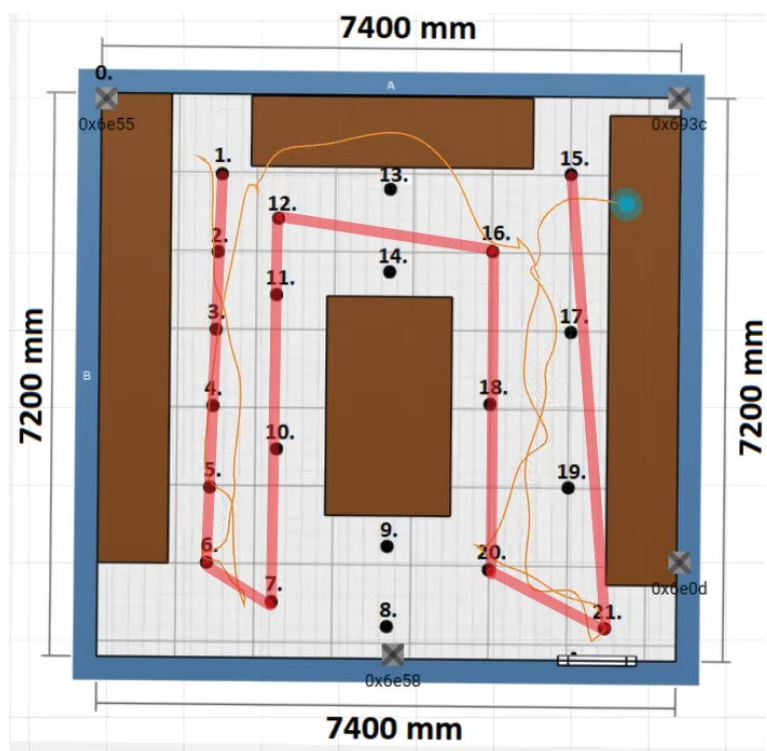
Obrázek 102: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na opasku



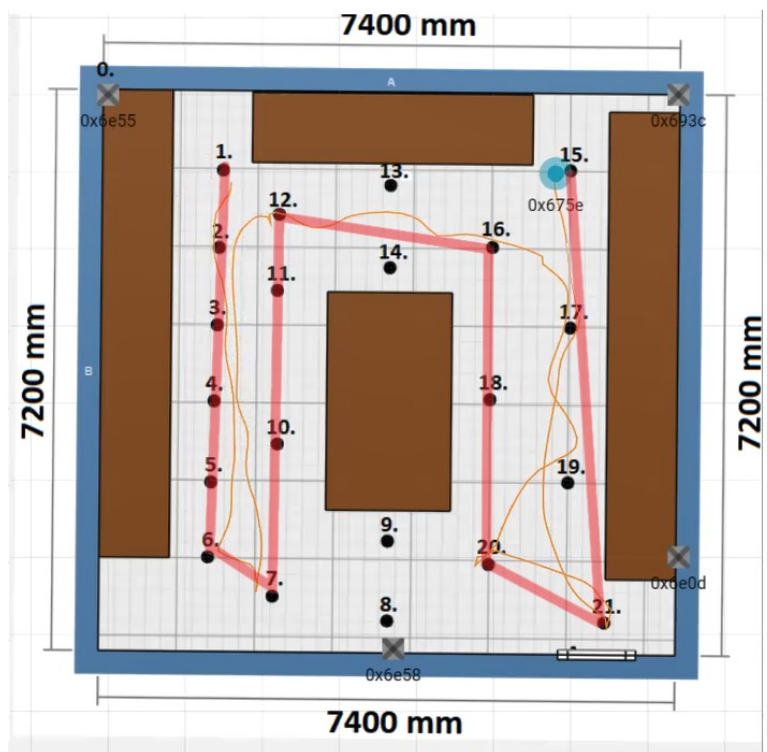
Obrázek 103: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn v náprsní kapse



Obrázek 104: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na levé paži a měření je prováděno s více lidmi v místnosti



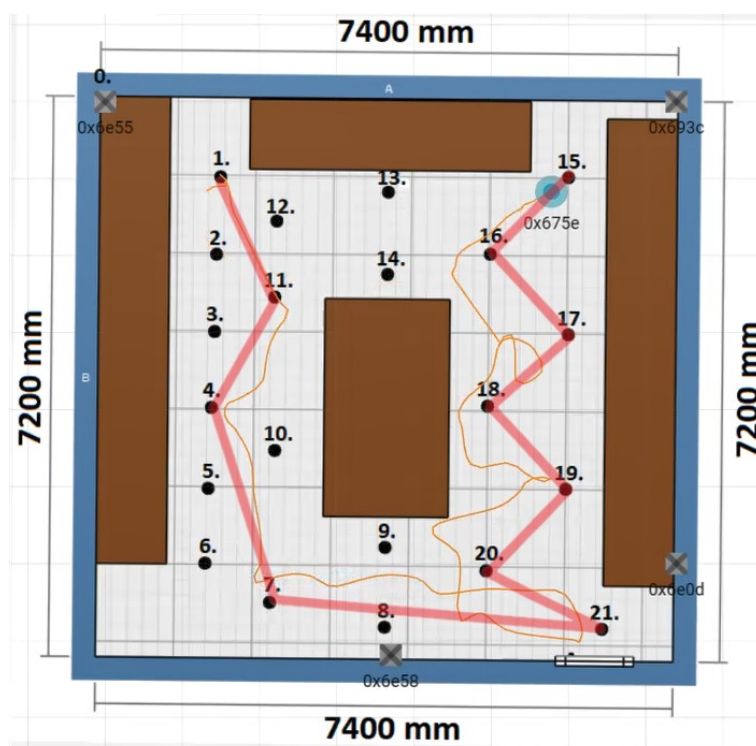
Obrázek 105: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn na opasku a měření je prováděno s více lidmi v místnosti



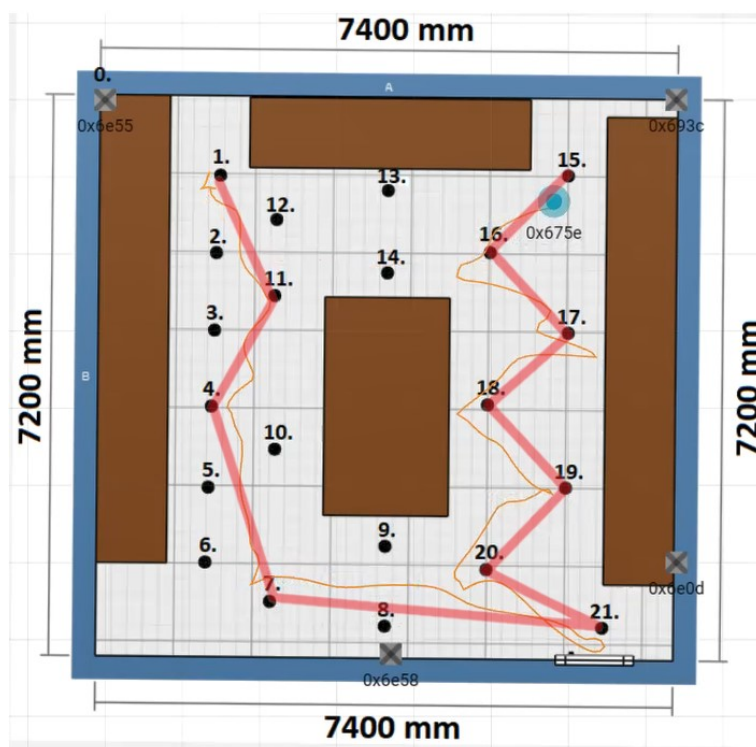
Obrázek 106: Záznam měření podle trajektorie č.2, kdy tag je umístěn v náprsní kapse a měření je prováděno s více lidmi v místnosti



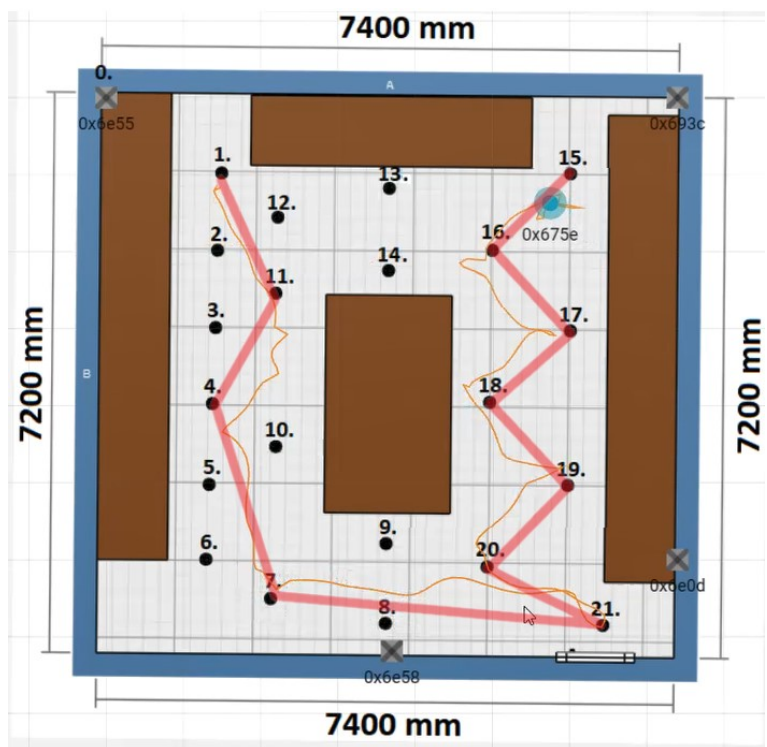
c. Výsledky lokalizace trajektorie č.2 (Obrázek 21)



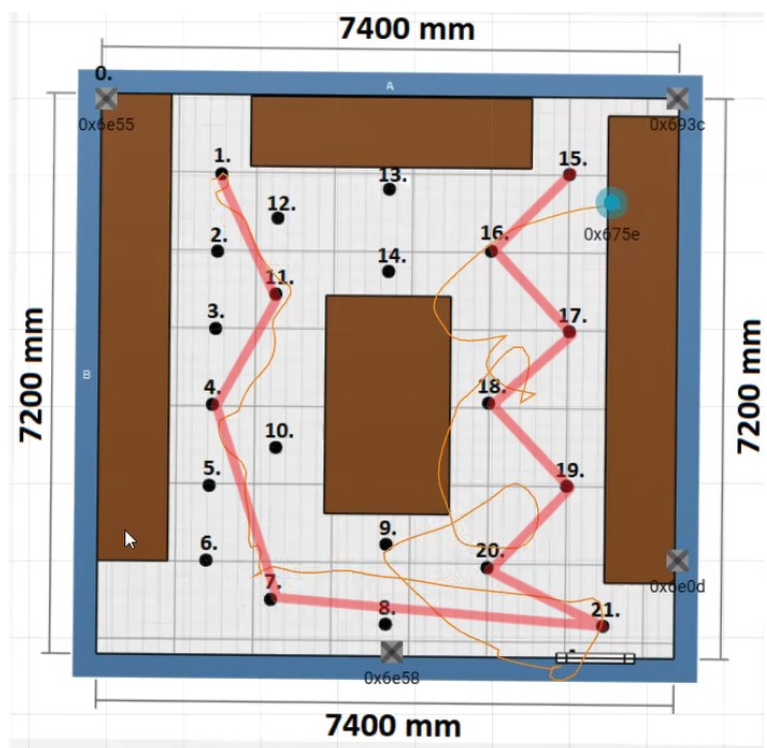
Obrázek 107: Záznamu měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na levé paži



Obrázek 108: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na opasku

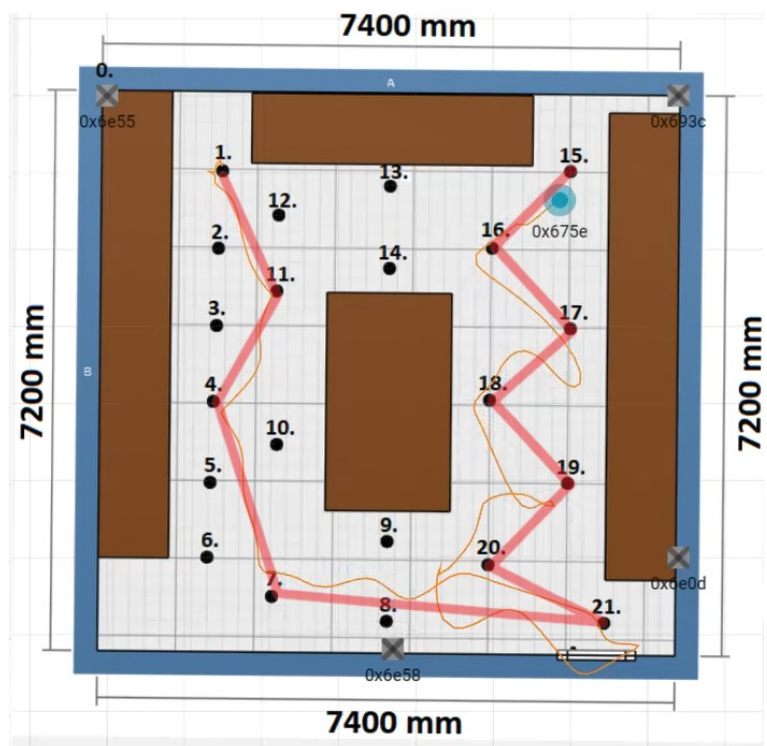


Obrázek 109: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn v náprsní kapse

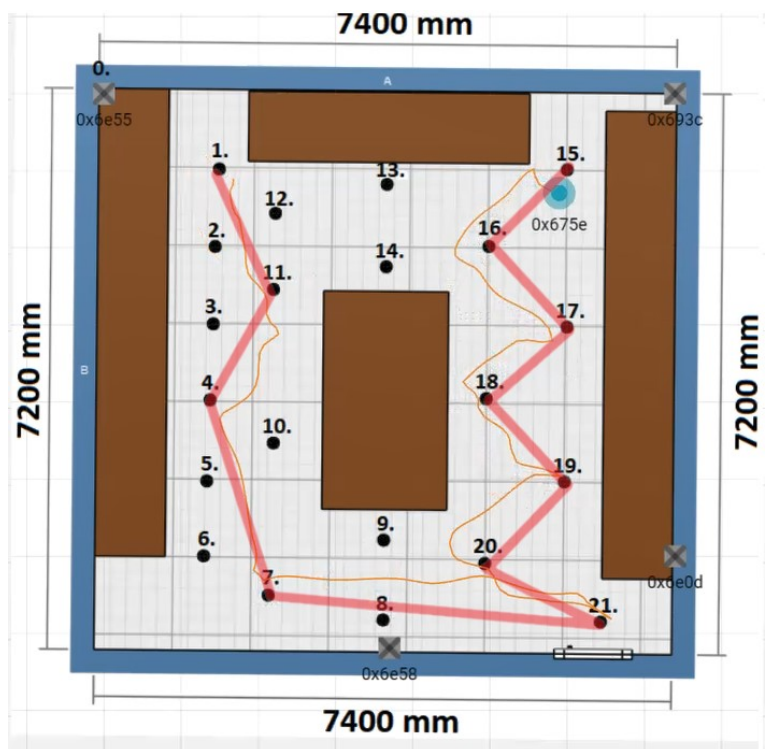


Obrázek 110: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na levé paži a měření je prováděno s více lidmi v místnosti





Obrázek 111: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn na opasku a měření je prováděno s více lidmi v místnosti



Obrázek 112: Záznam měření podle trajektorie č.3, kdy tag je umístěn v náprsní kapse a měření je prováděno s více lidmi v místnosti